



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

MEJORA DE LA ZONA DE RECRISTALIZACIÓN EN LOS
PERFILES EXTRUIDOS EN ALEACIONES DE ALUMINIO
6082

MEMORIA

Diego Izurdiaga Calvo

Javier Fernandez Carrasquilla

Pamplona, 25 de Noviembre 2010



INDICE

1. Introducción.....	1
2. Objeto del proyecto.....	4
2.1- Antecedentes.....	4
2.2- Objetivos concretos.....	5
2.3- Efectividad de estos objetivos en la calidad final del producto.....	5
3. Descripción de la planta	
3.1- Descripción del proceso de producción.....	7
3.1.1- Obtención y propiedades del aluminio.....	7
3.1.2- Proceso de fundición.....	10
3.1.3- Proceso de extrusión.....	30
3.1.3.1- Fundamentos de la extrusión.....	30
3.1.3.2- Descripción del proceso de extrusión.....	31
3.1.3.3- Instalaciones necesarias para tratamientos térmicos de aleaciones.....	74
4. Técnicas y procedimientos experimentales.....	86
4.1- Preparación de la muestra.....	86
4.1.1- Análisis macroscópico.....	86
4.1.2- Análisis microscópico.....	86
4.2- Definición de variables a caracterizar.....	87
3.2.1- Composición química.....	87
3.2.2- Aspecto superficial del tocho.....	88
3.2.3- Grosor de la segregación.....	89
3.2.4- Tamaño de grano.....	91
3.2.5- Otros posibles defectos.....	95
5. Control de la estructura de grano.....	96
4.1- Escenario inicial.....	97
4.2- Control de la estructura de grano.....	100
4.3- Posibles soluciones.....	101
5. Conclusiones.....	104



6. ANEXO 1.....	107
7. ANEXO 2.....	109
8. ANEXO 3.....	111



1. INTRODUCCION

El presente proyecto ha sido realizado durante el periodo de tiempo comprendido entre Septiembre de 2009 y Marzo de 2010, en la planta de la compañía Sapa Profiles Navarra, situada en el polígono industrial de la población de Irurtzun.

La empresa Sapa Profiles Navarra es una empresa dedicada a la extrusión de perfiles de aluminio. Pertenece a la empresa multinacional Sapa, que es líder mundial en la extrusión de aluminio. La planta situada en Irurtzun lleva dedicándose desde la década de los 50 al negocio del aluminio. De esta manera, ha pertenecido a diferentes empresas: Inasa, Reynolds, Alcoa y desde 2007 esta ultima se dividió en dos partes: Hydro, empresa de laminación de aluminio y Sapa, empresa de extrusión de aluminio,



Sapa Profiles Navarra cuenta con fundición propia, dos prensas de extrusión junto a un moderno laboratorio dedicado tanto a ensayos de fundición como de producto final de extrusión. Reforzados por el SAC (Sapa Application Cente), un equipo de ingeniería en colaboración con el cliente para proporcionar soluciones de forma conjunta.

La filosofía productiva de Sapa es fabricar perfiles en procesos estables, controlados y capaces de garantizar los requerimientos solicitados por el cliente. Para ello se selecciona la línea de producción mas adecuada, se investigan las diferentes variables que intervienen en el proceso: aleaciones, requisitos mecánicos, tolerancias dimensionales etc.



Para elegir la línea de producción mas adecuada hay que conocer y tener en cuenta la capacidad productiva de la planta:

Capacidad Productiva			
Peso Perfil	150 g/m (pesos interiores en desarrollo) - 20 Kg/m		
Espesor	> 0.8 mm (espesores interiores en desarrollo)		
Tamaño máximo	Tubo redondo 220 mm	Tubo cuadrado 210 x 210 mm	Tubo rectangular 340 x 30 mm
Longitud Máxima	15 metros		
Tamaño prensas	Desde 1.800 hasta 3.500 Tons		

El interés de Sapa es fomentar la cooperación con los clientes para crear valor añadido en cualquier proyecto particular para cada cliente, pero al mismo tiempo, ofrecer un amplio rango de perfiles estandarizados para cualquier mercado.





El aluminio puede sustituir a otros materiales como acero, cobre, plástico, o madera. La experiencia de Sapa en la extrusión hace de este proceso una alternativa a otras técnicas mas costosas, como el forjado o la inyección.

En Sapa Profiles Navarra se trabaja con varias aleaciones de aluminio (1050, 3103, 6060, 6061, 6063, 6005A, 6082), consiguiendo diferentes resultados respecto a propiedades mecánicas o estéticas.

Sapa Profiles Navarra esta certificada por organismos internacionales que avalan tanto su sistema de gestión, como su producto. Asimismo, Sapa Profiles Navarra fue la primera empresa de extrusión de aluminio en España en obtener la certificación ISO-TS 16949 y por supuesto nuestro sistema de gestión medioambiental es conforme con las exigencias de las Normas ISO aplicable a la fundición y extrusión del aluminio. Igualmente avalamos nuestro sistema de carpintería R con la Marca N de Producto.



2- OBJETO DEL PROYECTO

Cronológicamente el presente proyecto ha sido realizado en el periodo de tiempo que abarca desde Septiembre de 2009 hasta Mayo de 2010 en la planta de extrusión de aluminio y sus aleaciones de la antigua ALCOA, actualmente SAPA PROFILES NAVARRA situada en Irurtzun.

El trabajo realizado en el departamento de Ingeniería (I+D) a lo largo de unos meses ha culminado en la ejecución de este proyecto que ha tenido una importante aplicación práctica en la empresa.

Tiene por objeto realizar una mejora en la calidad de la materia prima utilizada en el proceso, en este caso se trata de las barras de aluminio de extrusión de la aleación 6082, fundidas en la propia empresa, y de esta manera introducirnos en un mercado en el cual no estamos sumergidos en estos momentos.

Para poder lograr el objetivo planteado se va a realizar una investigación a fondo sobre cuales deben ser los parámetros que se mejoren en dicha barras.

2.1- ANTECEDENTES

Actualmente se suministra a una serie de clientes perfiles destinados al sector del transporte, en los cuales se garantizan unas propiedades mecánicas concretas, y con los cuales se consiguen unas deformaciones estándar para aleaciones 6082. Concretamente un cliente quiere realizar sobre uno de estos perfiles unos curvados que se reflejan en el Anexo 2. Con el perfil que Sapa Profiles Navarra le suministra a fecha de Septiembre de 2009, el cliente es capaz de realizar 2 de los 5 curvados que desea conseguir.



Por esta razón, se quieren hacer cambios en la composición de la barra extruida y en una serie de parámetros propios del proceso productivo de la extrusión para alcanzar los requerimientos del cliente.

Tras la investigación acerca de cuales deben ser los cambios que se realicen en la composición y tratamiento posterior de las barras de extrusión, se harán una serie de coladas con el objetivo de conseguir el tocho optimo. Con estas barras se extruirá el perfil del cliente, Anexo 2, y se le enviaran unas barras de este perfil para que realice las pruebas necesarias para obtención de las deformaciones del perfil.

2.2- OBJETIVOS CONCRETOS

Del objetivo principal, que como he comentado anteriormente es la mejora de la calidad en la materia prima con la búsqueda de una mayor deformación en la aleación 6082, se pueden sacar dos objetivos.

1. Documentación e investigación sobre cuales deben ser los cambios realizados en la composición de las barras para la extrusión.
2. Mejora del producto final gracias a la reducción de la recrystalización en la extrusión de aleaciones 6082.

2.3- EFECTIVIDAD DE ESTOS OBJETIVOS EN LA CALIDAD FINAL DEL PRODUCTO

La composición del tocho es muy importante en el resultado de la extrusión. Este esta directamente relacionado con las propiedades mecánicas que se van a conseguir.



Al conseguir la composición óptima para el proceso, reduciremos la recristalización en las zonas mas críticas de los perfiles, los cuales son la causa de que no sea posible la curvatura de ciertos perfiles complejos.

Una vez decididos los puntos prioritarios en los que hay que trabajar es necesario realizar la descripción y planificación de los mismos para poder realizar un seguimiento adecuado.



3.1- DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

3.1.1- OBTENCION Y PROPIEDADES DEL ALUMINIO

La obtención mediante proceso industrial de aluminio utiliza como fuente de materia prima el mineral denominado “*bauxita*”, el cual está constituido por una mezcla de óxidos de aluminio y de hierro, acompañados de óxido de silicio y otros elementos. La fabricación comprende dos etapas:

- a) Aislamiento de óxido de aluminio ó preparación de “*alúmina*”
- b) Obtención del aluminio por electrólisis partiendo de la *alúmina* fundida

La electrólisis produce un metal con un contenido de aluminio entre el 99,4 % y el 99,8 %. Cuando se desee metal súper puro, definido como tal el metal que tiene una riqueza superior al 99,9 %, es necesario recurrir al REFINADO, lo que se consigue con una técnica especial de electrólisis.

Las propiedades del aluminio comercialmente puro (riqueza no inferior al 99,5%) son las siguientes:

a) Propiedades físicas:

Densidad a 20°C.....	2,7 Kg/dm ³
Punto de fusión (°C).....	658
Conductividad Térmica.....	alta: 2.17J cm/cm ² s (30-280°C)
Resistencia eléctrica térmica	baja: 2.84 Ωcm ² /cm
Poder reflexivo dependiente de su acabado.....	elevado
Poder emisivo dependiente de su acabado.....	bajo



b) Propiedades mecánicas medias:

ESTADOS

	<i>RECOCIDO</i>	<i>DURO</i>
Carga de rotura.....	5-8 Kg/mm ²	15-22 Kg/mm ²
Alargamiento.....	35-45 %	1-5 %
Dureza Brinell.....	15-20	45-55
Límite elástico.....	3-5 Kg/mm ²	12-20 Kg/mm ²

Con el aluminio puro se pueden hacer multitud de productos pero las características mecánicas son bastantes bajas por lo que se debe recurrir a aleaciones de aluminio para cubrir otras necesidades.

Incorporando al aluminio otros elementos ó aleantes, podemos obtener propiedades mecánicas en varios grados hasta superar a los aceros de uso normal, por ejemplo en la construcción, e incluso en automoción.

Las aleaciones de aluminio se pueden dividir, en principio en dos grandes grupos, en función de sus posteriores técnicas de transformación utilizadas para producir los diferentes productos deseados:

- ✓ Aleaciones para forja
- ✓ Aleaciones para moldeo

Ambos tipos de aleaciones se pueden subdividir en dos subgrupos en función de si admiten tratamiento térmico ó no para aumentar sus propiedades mecánicas.



- ✓ Aleaciones susceptibles a tratamiento térmico: Bonificables
- ✓ Aleaciones no susceptibles a tratamiento térmico: No Bonificables

La extrusión es una técnica que se engloba dentro de la forja. Los elementos de aleación más usados con el aluminio para aleaciones de forja son:

Ninguno.....	Serie 1000.	No Bonificables
Cobre.....	Serie 2000.	Bonificables
Manganeso.....	Serie 3000.	No Bonificables
Silicio	Serie 4000.	No Bonificables
Magnesio.....	Serie 5000.	No Bonificables
Magnesio y Silicio.	Serie 6000.	Bonificables
Zinc.....	Serie 7000.	Bonificables
Otros.....	Serie 8000	



3.1.2-PROCESO DE FUNDICIÓN

La elaboración de un producto de calidad debe ser el objetivo de toda fabricación. Cuando en la misma planta se realiza todo el proceso hasta llegar al producto final, resulta más fácil controlar la secuencia de operaciones de todo el proceso, siempre que se hayan controlado desde el inicio.

Respecto a los productos de extrusión, es en fundición donde recae principalmente la responsabilidad de una buena calidad de los productos finales, por ser suministradores de la materia prima. En fundición se preparan las aleaciones y se hace el tratamiento del metal, tanto en estado líquido como sólido para su posterior transformación.

Por ello el controlar todas las etapas del proceso de fundición es vital para poder obtener un tocho de calidad y rendimiento. El procedimiento universal para la fabricación de la materia prima para extrusión, es la colada semicontinua y técnica de enfriamiento directo.

Las instalaciones que se necesitan para ello son las siguientes:

- Horno de fusión
- Horno de mantenimiento- horno colada (trasvase)
- Mesa de colada
- Horno de homogeneizado
- Cámara de enfriamiento
- Transfer
- Sierra
- Control de calidad

3.1.2.1- HORNO DE FUSION



Antes de cargar el horno de fusión, se debe conocer exactamente la composición de la aleación que se quiere fabricar y sus tolerancias.

La carga estará constituida por una materia prima que puede corresponder a todos ó parte de los siguientes grupos:

- Lingote primario (suele ser de pureza 99,7% ó 99,5% de aluminio con impurezas de hierro y silicio)



- Lingote de segunda fusión (son lingotes de chatarra depurada)
- Material recuperado de la propia fabricación: “chatarra propias” (ha de ser de composición conocida ó por lo menos estar debidamente clasificada)



- Chatarra adquirida en el exterior
- Lingote de aleación madre (son lingotes formados por aluminio y un elemento aleante)



Es importante el orden en que se realiza la carga de los distintos materiales en el horno de fusión. Se empieza por los materiales de recuperación más delgados y se termina con los lingotes. Después se añade las aleaciones madre y en último lugar, una vez que está fundido todo el metal que está en el horno, se añaden como metales puros, metales de bajo punto de fusión como el Mg y Zn.

El horno de fusión es un horno basculante ó fijo, con tres ó más quemadores de gas, con una velocidad de fusión entorno a 8 Toneladas/hora y una capacidad total de 20 toneladas. El combustible utilizado puede ser gas ó fuel (la tendencia actual es utilizar gas).

Todo el horno, interiormente está recubierto de varios recubrimientos refractarios, de modo que el techo es de bóveda y permite mayor maniobrabilidad en la operación de carga.

También consta de dos puertas pequeñas, una en cada pared grande del horno, que sirven para las operaciones de limpieza, desescoriado y adición de fundentes.

Las operaciones de carga de material se realizan por la puerta grande, colocada frente a los quemadores, abre casi toda la pared posterior y se emplea para cargar. El sistema de carga de las materias primas es variable, con una carretilla móvil tipo VOLVO, ó por algún dispositivo hidráulico adaptado a las necesidades de fábrica.





El oxígeno necesario para la combustión es aportado por un ventilador que alimenta los quemadores.

El horno está regulado por un sistema de control sofisticado para obtener una combustión del gas lo más completa posible.

El horno tiene dos bocas de sangrado; una en el ámbito de las fundaciones (solera) para vaciado total y otra, a una altura intermedia para las coladas normales. Por esta boca sale el metal fundido más limpio, pues no hay ni natas ni partículas más densas depositadas en el fondo.

La regulación de la temperatura se realiza con termopares colocados en la bóveda y baño, siendo este un punto crítico debido a la dificultad de mantenerlos sin recubrirse del aluminio que suele borbotear y salpicar hacia su ubicación.

En este tipo de hornos la transmisión de calor es por radiación más que por convección, a pesar de la buena conductividad térmica del aluminio.

3.1.2.2- HORNO DE MANTENIMIENTO-HORNO COLADA (TRASVASE)

El material líquido, después del desescoriado en el horno de fusión (elevación por flotación de los óxidos ó escorias a la superficie mediante sales fundentes), está preparado para pasar al horno de colada. Está situado entre el horno de fusión y la mesa de colada y su función es mantener el aluminio fundido a temperatura y alimentar el distribuidor suave y constantemente durante la colada. Se utiliza también para ajustar la composición al detalle en una masa más pequeña.

El horno es cilíndrico, basculante de 5 Tn de capacidad.



La altura de la piquera (abertura por donde se distribuye el aluminio hacia la mesa de colada) es fija en todo momento pues coincide con el eje de basculamiento.

Se cierra el horno con un sistema de tapa móvil que se desplaza lateralmente pivotando sobre un eje. La tapa lleva incorporadas unas resistencias con una potencia de 35 Kw que mantienen a temperatura el metal durante la colada, pero no puede aumentar la temperatura si el metal se ha pasado frío del horno de fusión.

El sangrado o vaciado se realiza por la boca intermedia. Se pasa la cantidad de metal equivalente a una colada, dejando en el horno de fusión más de la mitad del líquido. Aproximadamente a mitad de transvase, se toma una muestra de la canaleta para el análisis de la composición. Aquí es donde se hace la corrección y ajuste de la composición. El metal en el horno de colada, antes de proceder a pasarlo a la mesa de colada, deberá tener la composición de acuerdo con las especificaciones, tanto en los elementos importantes que hacen la aleación como en no sobrepasar los porcentajes de los otros elementos, que como impurezas ó trazas, siempre acompañan al aluminio.

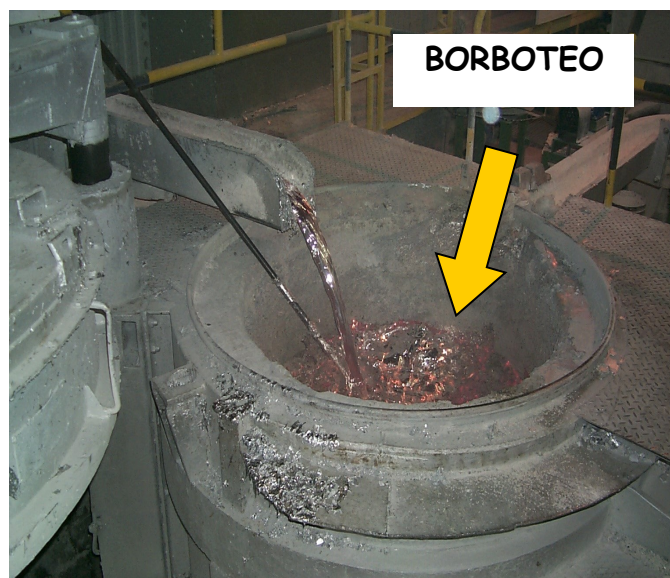
Además el aluminio ó aleación fundida debe estar tan libre como sea posible de gases, óxidos y materias extrañas.

El objetivo es obtener un tocho de grano fino que mediante la extrusión permita conseguir un perfil que se comporte bien en los tratamientos de superficie y otros requisitos. Para conseguir todo esto se deben realizar los siguientes pasos con la masa fundida y ya ajustada:

- ♦ Lavado ó desescoriado.



- ♦ Desgasificado (se arrastra el hidrógeno haciendo borbotear un gas, para ello se dispone de un equipo de filtración y desgasificado en continuo tipo SNIF)



- ◆ Afinado (principalmente se utiliza Titanio como afinante y se aplica en forma de varilla en la canaleta de paso al distribuidor)

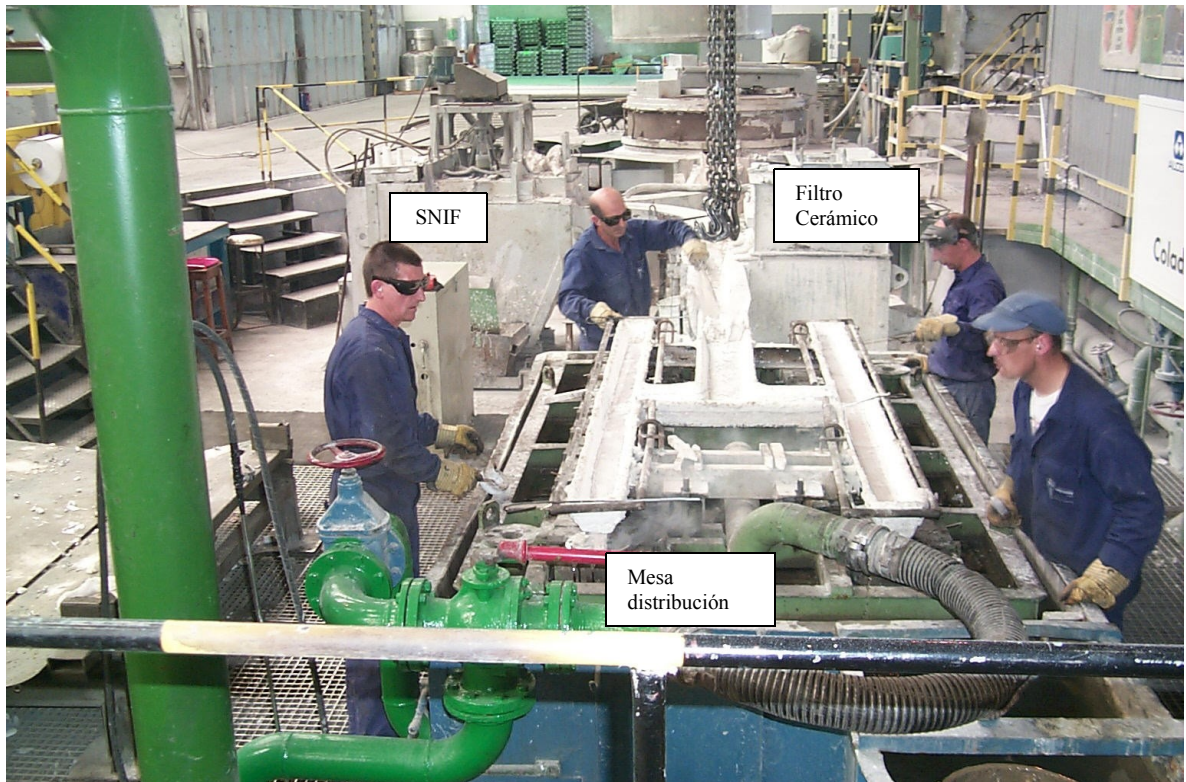


- ◆ Filtrado (se hace pasar el caldo por un filtro cerámico con una porosidad controlada)

Las inclusiones que han sido arrastradas a la superficie se retiran como escoria y por otra canaleta que comunica el SNIF con los moldes comienza la operación de colada.

3.1.2.3- MESA DE COLADA

El caldo sale del horno de colada para distribuirse por una mesa de colada dotada de regulación del nivel por el sistema pipa-flotador. La mesa de colada es donde se albergan los moldes donde ocurrirá la solidificación. Antes de empezar a realizar la operación de colada, el maquinista comprobará el buen estado de todas las partes que van a estar en contacto con el aluminio como canaleta, distribuidor, moldes, pipas, flotadores. Así mismo comprobará el correcto posicionamiento de los flotadores. El metal en forma de caldo debe estar bien tratado y a la temperatura adecuada.



El inicio de colada es la parte más difícil del proceso. Todas las variables están inestables. Las grietas originadas por las contracciones se producen en ese momento en el cual la velocidad de enfriamiento (velocidad de arranque de colada y el agua de refrigeración) juega un papel determinante. Sin embargo el final de colada no es nada crítico. De hecho, el saneamiento a la hora de corte en sierra es mínimo al final (20-25mm) frente a los 70-100mm de comienzo de colada. Se suelen verificar las barras por ultrasonidos para asegurarse que están libres de grietas que se hayan podido producir en el arranque de colada.

Dentro de la mesa de colada se pueden distinguir tres niveles distintos, tres planos colocados a diferente altura: distribuidor, mesa de moldes y mesa de falsos fondos.

A)Distribuidor



Al distribuidor llega el aluminio líquido desde el horno de colada y es el responsable de distribuir el caldo hacia cada molde donde se cuela el tocho, e idealmente en las mismas condiciones de temperatura, caudal, presión, etc.

Prácticamente consta de una canaleta con distintas formas geométricas, según diseño, y que en el fondo se colocan las pipas. La distancia entre estas no es crítica y viene dada por las dimensiones y colocación de los moldes, de modo que se encarga de canalizar el caldo fundido hasta el distribuidor propiamente dicho. El distribuidor es una estructura metálica revestida de refractario para reducir pérdidas de calor. El refractario ha de ser resistente a la abrasión, sin desprendimiento de partículas (posibles inclusiones en el tocho).

b) Moldes.

Los moldes están alojados en la caja de agua ó bien son independientes, con refrigeración individual de entrada y salida de agua. El número de moldes por mesa es variable, en función del tamaño de tocho, y no afecta al principio de colada.

En el molde solidifica el aluminio y prácticamente es el centro de todo el sistema de fundición.

Los moldes son unas piezas cilíndricas (en la fabricación de tochos), huecas, de aleación de aluminio con un casquillo de grafito en la parte interior y refrigerados exteriormente por agua. La superficie interior del molde debe estar en perfecto estado. Después de finalizar la colada se deben limpiar los moldes y eliminar las posibles marcas, roces ó golpes, generalmente se hace con un trapo.

El aluminio que llega a través de las pipas, solidifica al entrar en contacto con las paredes del molde, formando una costra que retiene el líquido todavía no solidificado del interior. El enfriamiento más fuerte se produce por unos chorros ó cortina de agua que sale de la parte inferior del molde y que incide sobre toda la superficie de la barra en cuanto esta deja el molde.

La alimentación del molde se regula automáticamente por el flotador que, al subir el nivel del líquido en el molde, entra en contacto con la parte inferior de la tobera impidiendo la salida de más metal hasta que alcance de nuevo el nivel prefijado.

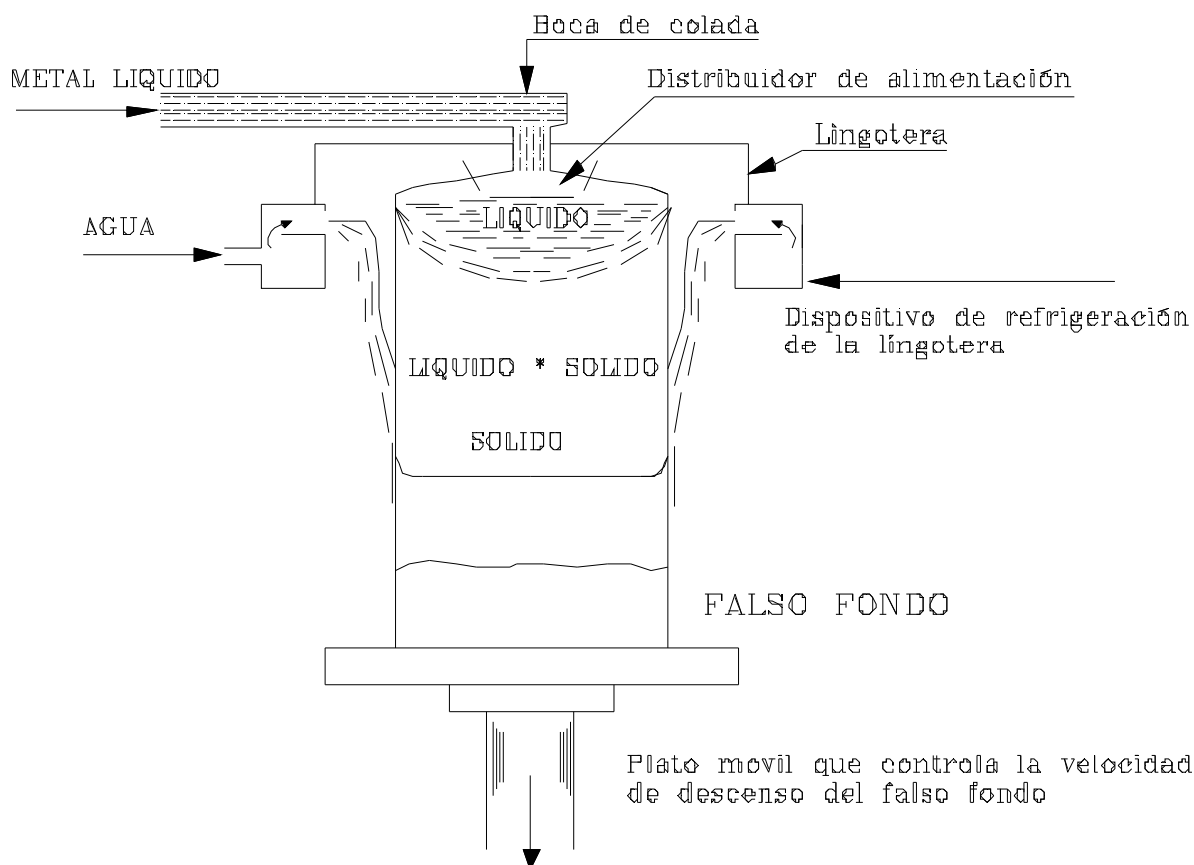
El flotador es una pieza cerámica, circular, de diseños muy variados, que cuelga del distribuidor ó se mantiene directamente en el molde al principio y final de colada.

c) Mesa de falsos fondos.

Se llama así porque lleva unos pivotes circulares que cierran y taponan la parte inferior de los moldes en el inicio de la colada, impidiendo que el aluminio líquido salga por debajo sin solidificar.

En realidad es un sistema hidráulico que mediante su bajada regula la velocidad crítica de solidificación del aluminio.

La mesa descende verticalmente a velocidad constante y da origen a la formación de las barras al permitir que llegue al molde nuevo aluminio, que a su vez solidifica. La profundidad del pozo situado debajo de la máquina de colada, limita el recorrido de la mesa de falsos fondos y, por tanto, la longitud de las barras. En ALCOA se utiliza una longitud aproximada de 4 metros.





Esquema de la solidificación con una mesa de falso fondo

Existen 4 parámetros importantes a controlar en el proceso de colada de tocho cilíndrico:

- *Temperatura del metal ó caldo:* la temperatura en el distribuidor estará comprendida entre 680-700°C. Por debajo de ésta, disminuye la colabilidad y aumenta el riesgo de pegarse en los flotadores. Por el contrario si es demasiado elevada, tendería a estropear el molde ó se producirían agarres. En este último caso existiría además el riesgo de una grave explosión si quedase atrapada agua en una superficie con aluminio.
- *Velocidad de colada ó velocidad de la mesa de falsos fondos:* En una colada ideal de solidificación laminar, la velocidad de colada sería igual a la velocidad de solidificación. Varía según la aleación. La velocidad de descenso es también función del diámetro del molde (a mayor diámetro, menor velocidad). Con velocidades excesivas se pueden producir grietas a lo largo de la barra, y con velocidades insuficientes existe el riesgo de producirse pliegues fríos ó incluso pegarse ó cegarse los flotadores.
- *Enfriamiento. Temperatura y caudal de agua:* Existen dos tipos, el primario (enfriamiento en el molde) y el secundario (debido a los chorros ó cortina de agua que envuelve la barra apenas abandona el molde). Para obtener una buena estructura es más importante el secundario. En términos generales se podría hablar de 15-25°C de temperatura de agua y un caudal de 120 litros/molde. El agua que sale del molde se debe distribuir perfectamente alrededor de toda la circunferencia de la barra.
- *Nivel de metal líquido en el molde y mesa de distribución:* Interesa siempre trabajar con nivel bajo en el molde, si se quiere conseguir mejor calidad de tocho.

Al disminuir la zona de roce, mejorará el aspecto superficial de las barras. A la vez perderá importancia el enfriamiento primario y obtendremos mejor estructura metalúrgica.

Depende de las instalaciones, pero una altura de nivel desde el fondo del molde de 32-35 mm, parece suficiente. Cuanto más bajo sea el nivel, más atento tiene que estar el maquinista y mayor es el peligro de estropear alguna barra.

3.1.2.4- HORNO DE HOMOGENEIZADO



El homogeneizado es un proceso a base de tratamientos térmicos aplicado sobre las barras coladas. Consiste en dos etapas: una de calentamiento y permanencia a temperaturas elevadas (560°C en la aleación 6063) y otra de enfriamiento controlado. La primera se realiza en el horno de homogeneizado y la segunda en la cámara de enfriamiento.

El material bruto de colada obtenido en la colada semicontinua se puede extruir directamente pero con un rendimiento mucho más bajo en productividad (se reduce la velocidad al disminuir la capacidad de conformado) y peores resultados finales, tanto en características mecánicas como en aspecto superficial, que el metal tratado térmicamente antes de extruir.

El material sin homogeneizar al ser extruido se agarra más, parece más "pegajoso" y fluye peor. Cuando coincide con un material mal desgasificado, disminuye mucho la velocidad de extrusión.



Es muy importante tener una mínima dispersión de temperaturas entre los diferentes puntos del horno para tener toda la masa tratada con las mismas propiedades físicas, metalúrgicas y mecánicas.

Dentro de las exigencias del horno está la obtención de una temperatura final uniforme de 5°C en toda la masa del metal, lograda en un tiempo relativamente corto. Es importante que el punto frío del horno alcance la temperatura deseada pronto, pues de él depende la duración total del tratamiento.

La geometría del horno está en función de la longitud de las barras obtenidas en la colada y del número de barras que se quieran tratar en cada ciclo. Esto a su vez condiciona la potencia del horno y ventiladores.

El sistema de calefacción es eléctrico, por la mejor regulación de temperatura. Lleva unos enclavamientos de seguridad que desconecta automáticamente las resistencias si sube demasiado la temperatura debido a cualquier avería.

Un registrador gráfico permite controlar en todo momento la temperatura y sirve para almacenar datos de todos los ciclos de homogeneizado.

3.1.2.5- CAMARA DE ENFRIAMIENTO

La cámara de enfriamiento tiene las mismas dimensiones interiores que el horno de homogeneizado, ya que toda la carga pasa sucesivamente los dos tratamientos.

El diseño en ambos casos es semejante, pero el horno de homogeneizado está aislado térmicamente y tiene resistencias para el calentamiento del aire en recirculación, mientras la cámara de enfriamiento toma aire del exterior y lo devuelve también fuera.

El enfriamiento tiene que ser controlado, rápido y lo más homogéneo posible en toda la carga (aproximadamente en cuatro horas el aluminio pasa de 560-580°C a 100°C) y el ciclo lógicamente es mucho más corto que el homogeneizado. Interesa controlar el punto mas caliente del horno, ya que es donde está la zona más crítica para una velocidad de enfriamiento crítica.



Dos ventiladores alimentados con motores de 27 Kw dan un caudal de 24 m³/seg a 1000 r.p.m. Un sistema de poleas permite algunas variaciones en la velocidad de giro.

3.1.2.6- TRANSFER

Cuando hablamos de la carga de homogeneizado nos referimos a un conjunto de barras que suponen unas 25 toneladas en barras de 4 metros de longitud.

El mover este material tendría sus dificultades y, concretamente, al sacarlo del horno de homogeneizado a la temperatura de 540-580°C, si no tuviéramos algún dispositivo especial.

Las cargas almacenadas en los muelles, próximos a la mesa de colada, se llevan a los hornos de homogeneizado y cámara de enfriamiento por medio de un transfer que, en semiautomático, hace las operaciones de coger la carga, trasladarla y dejarla posicionada en su emplazamiento dentro del horno.

Para realizar estas operaciones, el transfer tiene los movimientos de avance longitudinal, elevación, descenso, y traslación.

3.1.2.7- SIERRA



Es el último eslabón de la cadena de fundición. Los tochos, que es la materia prima de la prensa de extrusión, deben tener una medida determinada entre 500-850mm (según prensa). Para obtener los tochos mediante corte de las barras de 4 metros se emplean sierras de disco.

Las dos variables que influyen directamente en el corte son: la composición de la taladrina y el afilado. Con la misma sierra e igualmente automatizada, se obtienen resultados muy diferentes. Así misma, la duración del disco, es decir, número de cortes/afilado, está unido directamente a estos dos factores.

La sierra propiamente dicha sería el conjunto de carcasa, disco, motores y bomba, pero para su funcionamiento necesita una mesa de almacén y avance del material, así como otra mesa de salida y almacén del tocho cortado.

Las barras están almacenadas en una mesa inclinada y a medida que el operario las solicita, avanzan una a una, por una mesa de rodillos. Un tope intercambiable, dependiendo de la longitud del tocho seleccionada, detiene el avance de la barra y se queda posicionada para ser fijada por una mordaza que aprieta. Entonces el dispositivo avanza, efectúa el corte y vuelve a su posición. El tocho cortado se desplaza por la mesa de salida hacia su lugar de almacenamiento.

Los tochos cortados y debidamente identificados, se almacenan en plataformas ó paquetes.



3.1.2.8- CONTROL DE CALIDAD

El concepto de Control de Calidad es mucho más amplio que una simple inspección de productos.

De la variedad de trabajos y posibilidades cabe comentar:

- Control de la materia prima (lingotes de primera fusión, chatarra, etc.).
- Control de procesos de fundición.
- Control del producto final (tocho).

a) Control de la materia prima.

Una misión importante de Control de Calidad es la recepción de la materia prima. En este caso al tratarse de la fundición de aluminio el control se hará principalmente sobre el elemento base, aluminio, aunque haya otros productos que también se deben controlar (combustible, aditivos, pipa, flotador, etc.).

El aluminio que se recibe puede estar en forma de lingote primario, lingote secundario ó chatarra. Según la clase de material varían las condiciones de control, pero el primer paso común a todos será la comprobación y clasificación del material por los resultados de la composición química. En el lingote primario bastará con los certificados de composición para almacenar el material. Por ello todo el material que entra en fábrica deberá cumplir las normas de composición química.

A la chatarra se le pide que sea limpia (sin tornillos, ni remaches de hierro, etc.) y uniforme en composición. Aunque por la experiencia exista una clasificación de proveedores de chatarra, siempre se hará un chequeo de las muestras recibidas. De no conocer directamente la procedencia de la chatarra, por lo menos debe existir la duda de su composición y no se cargará en el horno en grandes cantidades.

b) Control de procesos de fundición.



Producción tiene unas normas de fabricación que abarcan tanto a los equipos como las operaciones.

Estas normas son unos procedimientos realizados conjuntamente con el departamento de Garantía de Calidad de Extrusión, en los cuales se detallan tanto el control del proceso en fundición como la inspección y ensayo del proceso y del producto final.

c) Control del producto final.

Todo el material expedido deberá estar fabricado de acuerdo con las normas UNE-EN ISO 9001:2000 (Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos) e UNE-ISO/TS 16949 (Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos particulares para la aplicación de la Norma ISO 9001:2000 para la producción en serie y de piezas de recambio en la industria del automóvil) además de tener que cumplir las especificaciones del cliente cuando estas existan.

Este control de producto acabado será un examen visual del aspecto, comprobación de cotas y ensayos de características mecánicas.

Calidad del tocho

Muchas veces, la calidad viene definida como ausencia de defectos. En este sentido, en el aspecto exterior señalaríamos: no hay grietas, no hay desgarros, no hay segregación, no hay pliegues fríos, etc. En la estructura interna los puntos de examen pueden ser:

- X Tamaño de grano
- X Espesor y morfología de la zona cortical
- X Macrografía uniforme
- X Estructura después del homogeneizado

Un tocho de calidad debe reunir las siguientes características:



- ◇ Composición química correcta
- ◇ Superficie lisa, sin costuras ni ondulaciones
- ◇ Buena calidad interna a escala microscópica y macroscópica
- ◇ Contenido bajo en inclusiones y óxidos
- ◇ Mínima cantidad de gas ocluido
- ◇ Proceso de homogeneizado suficiente en tiempo y temperatura.

Al variar la composición química, puede variar la velocidad de extrusión, la sensibilidad al temple, características mecánicas, aspecto. Un fallo de cálculo produce composiciones fuera de normas y en último caso debe ser reconocido antes de terminar la colada.

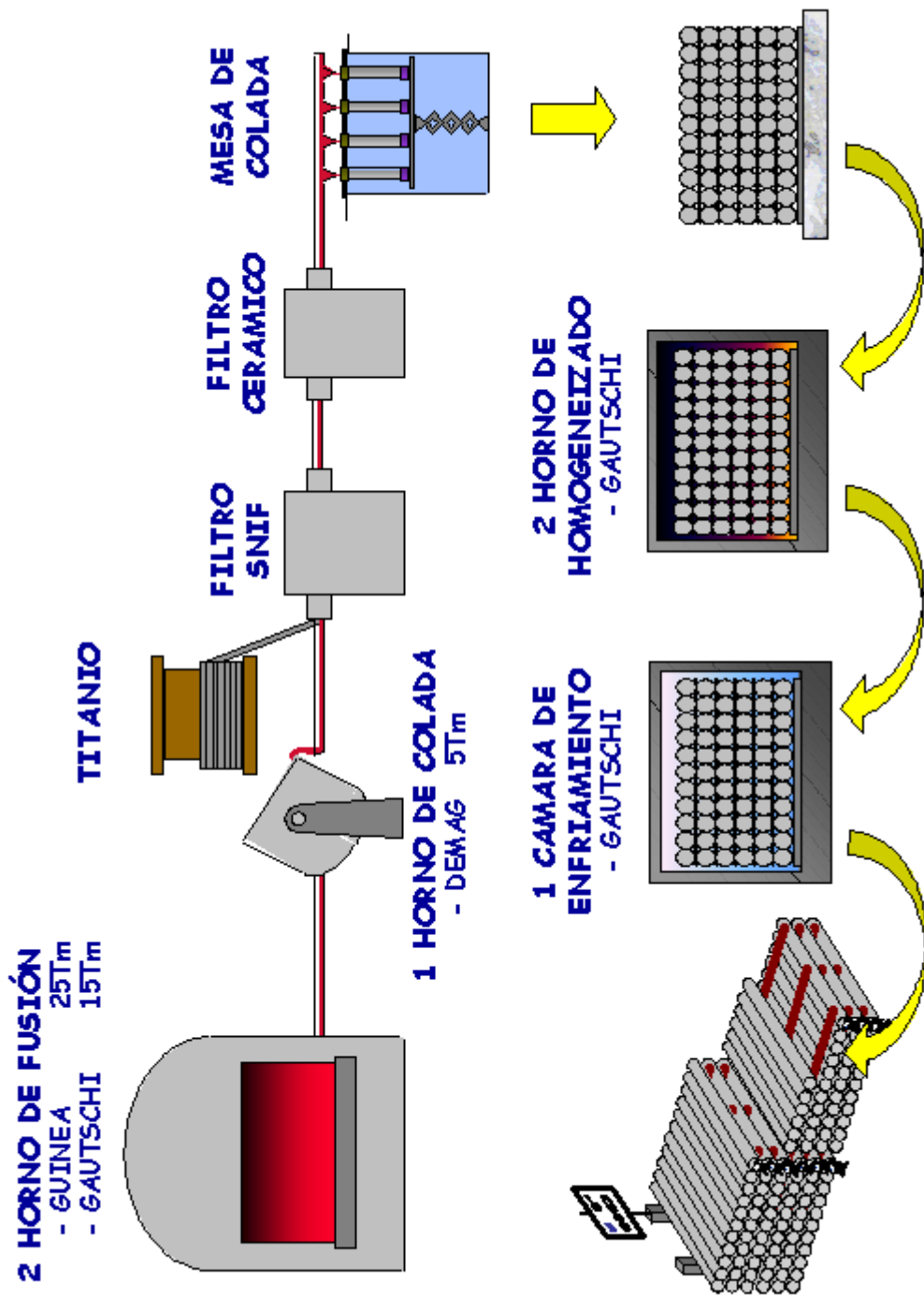
Una superficie lisa, en general, es un síntoma de calidad, aunque esto no es suficiente. A nivel de resultados, la limpieza del metal y buena estructura metalúrgica es fundamental.

El homogeneizado es el último proceso que puede modificar la calidad del tocho. Dentro de lo complejo que es el proceso calentamiento-enfriamiento, hay una forma relativamente cómoda de controlarlo. Consiste en medir la dureza de una rodaja (cortada de una barra después del enfriamiento), después de un ciclo de envejecimiento artificial. Es una medida de la puesta en solución y precipitado posterior.

La mejora de la calidad de los tochos empleados en extrusión ha de ser un tema de preocupación constante en toda la empresa, ya que de la calidad del tocho depende la productividad del proceso de extrusión y el aspecto superficial de los productos extruidos.

A continuación se presenta un sencillo esquema en el que se describe el proceso de generación de barras que se lleva a cabo en fundición.

ESQUEMA DE FUNDICIÓN





3.1.3-PROCESO DE EXTRUSIÓN

3.1.3.1- FUNDAMENTO DE EXTRUSION

Las características físicas del aluminio, en particular su relativamente baja temperatura de fusión, entorno a 660°C, su ductilidad y su maleabilidad, hacen de sus aleaciones materia prima adecuada para la transformación del metal por el proceso de la técnica de extrusión.

Desde hace más de un siglo se ha aplicado esta técnica para la transformación de los metales, tanto en el caso de metales puros (cobre, plomo, zinc, etc.) como en el caso de las aleaciones de dichos metales, por ejemplo, aleaciones plomo-estaño.

La maquinaria utilizada para la fabricación de perfiles extruidos se conocen con el nombre de extrusoras ó *prensas de extrusión*.

El tamaño y prestaciones de estas máquinas están en función de las características de los perfiles que se van a fabricar (tamaño, precisión, aleación, etc.) y de las producciones que se deseen conseguir. El tamaño viene expresado por la fuerza máxima que desarrolla la prensa, expresada esta en Toneladas (Tm). Según esto existen prensas de extrusión desde 800 a 10.000 Tm. No obstante, el tamaño más utilizado está comprendido entre 1600 a 2500 Tm.

El proceso de extrusión consiste en someter al tocho, alojado en un recipiente concéntrico (container), a una presión que, por deformación plástica en caliente, obligue a salir al metal a través de una hilera, en la que se ha conformado la forma del perfil deseado. En la *Figura 2.3.1* se representa un esquema del proceso de extrusión descrito anteriormente.

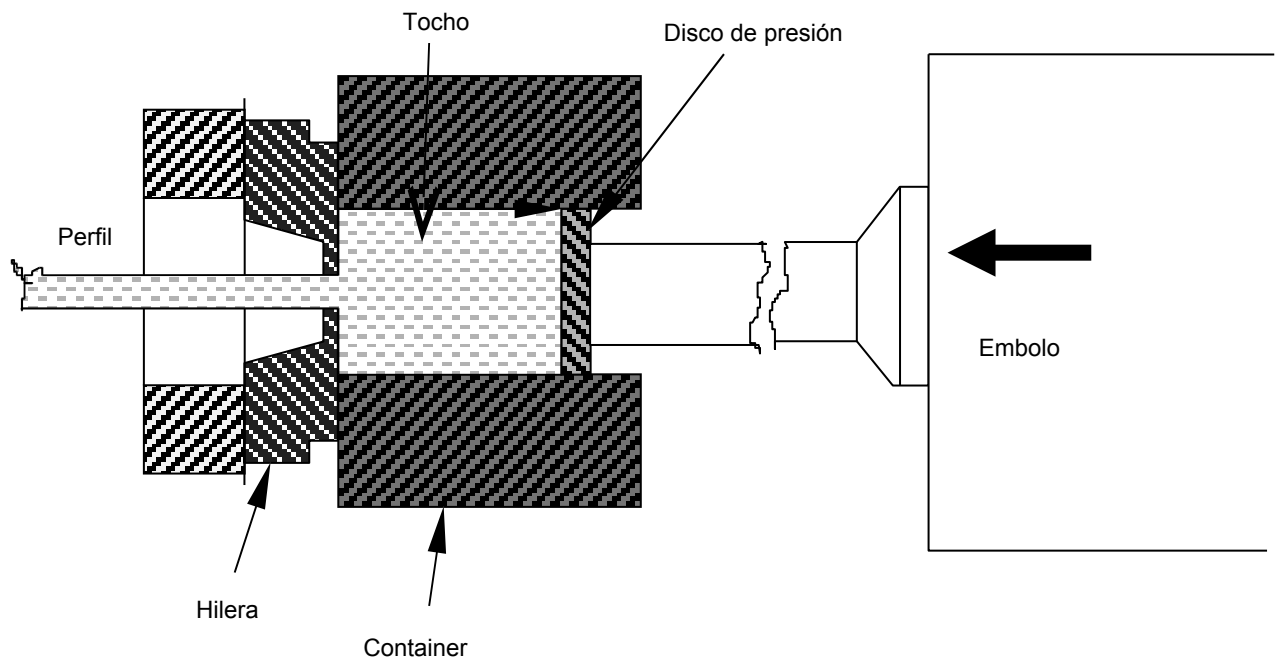


Figura 2.3.1- Esquema del proceso en la prensa de extrusión

3.1.3.2- DESCRIPCION DEL PROCESO DE EXTRUSION

3.1.3.2.1- EQUIPOS. FUNCIONALIDAD EN EL PROCESO

Se va a realizar una descripción de los equipos empleados para el proceso de extrusión, así como la función de cada equipo en el proceso, desde la introducción del tocho en bruto hasta que sale de las plataformas de la sierra para su posterior proceso en el horno de envejecimiento artificial.

3.1.3.2.1.1- Prensa de extrusión

La prensa de extrusión es la máquina empleada para realizar el proceso de extrusión. A continuación se explicará con detalle sus elementos y funciones. Con el término prensa de extrusión se suele denominar al conjunto de instalaciones necesarias para realizar el proceso de extrusión. En este concepto se engloba la máquina extrusora horizontal así como sus elementos auxiliares y complementarios.



Existen dos tipos de prensas horizontales de extrusión:

- Prensas de extrusión directa (me centraré en la descripción de las mismas)
- Prensas de extrusión indirectas (son prensas que ALCOA no dispone)

ALCOA, en su sección de extrusión, consta de cuatro prensas de extrusión directa, con diferentes tamaños y potencia, de modo que sus características están especificadas en el esquema que se muestra mas adelante.

3.1.3.2.1.1- Fundamento de la prensa de extrusión directa

La prensa de extrusión directa (la máquina extrusora propiamente dicha) se caracteriza por mantener en una posición fija, durante la operación de extrusión, la hilera en contacto con el extremo del container (realizándose una presión de sellado entre ambas, para no escaparse aluminio) y desplazar el émbolo principal a partir del otro extremo, empujando el tocho del metal que se encuentra entre ambos y obligándole a salir por medio de una determinada presión a través del orificio u orificios tallados en la hilera.

La fuerza generada por las bombas que imprimen al fluido hidráulico, generalmente aceite, una elevada presión, se transmite sobre el vástago, obligándole a fluir al tocho, como ya se ha dicho, a través de la hilera.

Intentando hacer un símil, es el “concepto de una churrera”: donde en este caso el tocho es la masa de harina, las bombas-pistones es el mecanismo de empuje de la churrera, el container es donde se aloja la masa y la hilera es la boca de la churrera, que le confiere esa forma al churro.

El circuito hidráulico de la prensa de extrusión es muy sofisticado y preciso; los bloques de electroválvulas que regulan la dirección del fluido son controlados por tarjetas de circuitos impresos que sustituyen a los contactores, y actualmente por autómatas y PDI.



3.1.3.2.1.1.2- Partes principales de una prensa

Las partes fundamentales de la prensa de extrusión directa, como máquina, en la que se puede subdividir son las siguientes:

- a) Circuito hidráulico. Sistemas de accionamiento.
- b) Cilindro principal.
- c) Pistón principal.
- d) Vástago de presión.
- e) Base.
- f) Placa de presión ó platen
- g) Panel de mandos.
- h) Carcasa del container
- i) Camisa del container o liner.
- j) Disco de presión.
- k) Disco de limpieza.
- l) Portahileras.
- m) Cargador de tochos.
- n) Cizalla.
- o) Columnas de tensión

a) Circuito hidráulico. Sistemas de accionamiento

Las prensas son accionadas por agua ó aceite a una presión elevada, bien sea por bombas ó a través de acumuladores colocados entre las bombas y la prensa. Existen diferentes combinaciones y tipos de accionamiento en función del tipo de prensa.

El circuito hidráulico comprende las bombas, el acumulador, el tanque de líquido hidráulico, las válvulas de distribución, los tubos de conducción, etc.

Las bombas suelen ser tipo bombas de pistones, ya que pueden trabajar a presiones elevadas que oscilan desde 230-320 Kg/mm², además de ser unas bombas con juegos y holguras reducidos. Las más usadas son bombas de pistones múltiples en estrella.

En las prensas modernas se utilizan unas bombas principales para realizar los accionamientos que requieren presiones y caudales altos (movimientos de pistón principal, cizalla, contenedor...) y bombas auxiliares para otras funciones (cargador de tochos, movimientos portahileras, movimientos rápidos...)

Las válvulas de distribución de tres y hasta cuatro vías, se pilotan, generalmente, con regulación de velocidad de desplazamiento del vástago para reducir al máximo los golpes de ariete. Los vástagos de la distribución de presión piloto son accionados por solenoides. Actualmente se tienden a utilizar bloques proporcionales (según el control)

La utilización de solenoides para el accionamiento de los pilotos, permite, con ayuda de finales de carrera eléctricos, contactores, circuitos impresos, autómatas, etc., la marcha automática de la distribución y la disposición de seguridad de los diferentes elementos.

Dependiendo del sistema de regulación, se utilizan diferentes elementos, como pueden ser controles infinitesimales de posición, válvulas proporcionales...

Los acumuladores de presión se utilizan cuando se necesitan grandes velocidades y esfuerzos de corta duración para la reducción de tiempos muertos generalmente. El llenado del acumulador se realiza por medio de una bomba de menor potencia en la parte del ciclo donde no se necesita su utilización.

El aceite hidráulico es un elemento importante, debido a sus varios cometidos, entre lo que cabe destacar la transmisión de fuerza, lubricación de piezas en movimiento, evacuación de calor, reducción del desgaste, evacuación de partículas de desgasta, protección anticorrosiva.... La elección del tipo de aceite depende de la temperatura de servicio, capacidad del depósito, utilización de elementos e incluso el clima (temperaturas máximas y mínimas). Por ello debe de conservarse una temperatura de trabajo óptima, para no degradar el aceite (50°C) con un buen sistema de refrigeración y equipos de filtración.



b) Cilindro principal

El cilindro principal tiene una forma bastante compleja y su construcción resulta muy delicada. Este se fabrica en acero moldeado. Su peso llega a alcanzar valores de consideración, sobre todo cuando se trata de prensas cuya potencia superan las 2000 Toneladas refiriéndonos a pesos que superan las 50 Toneladas.

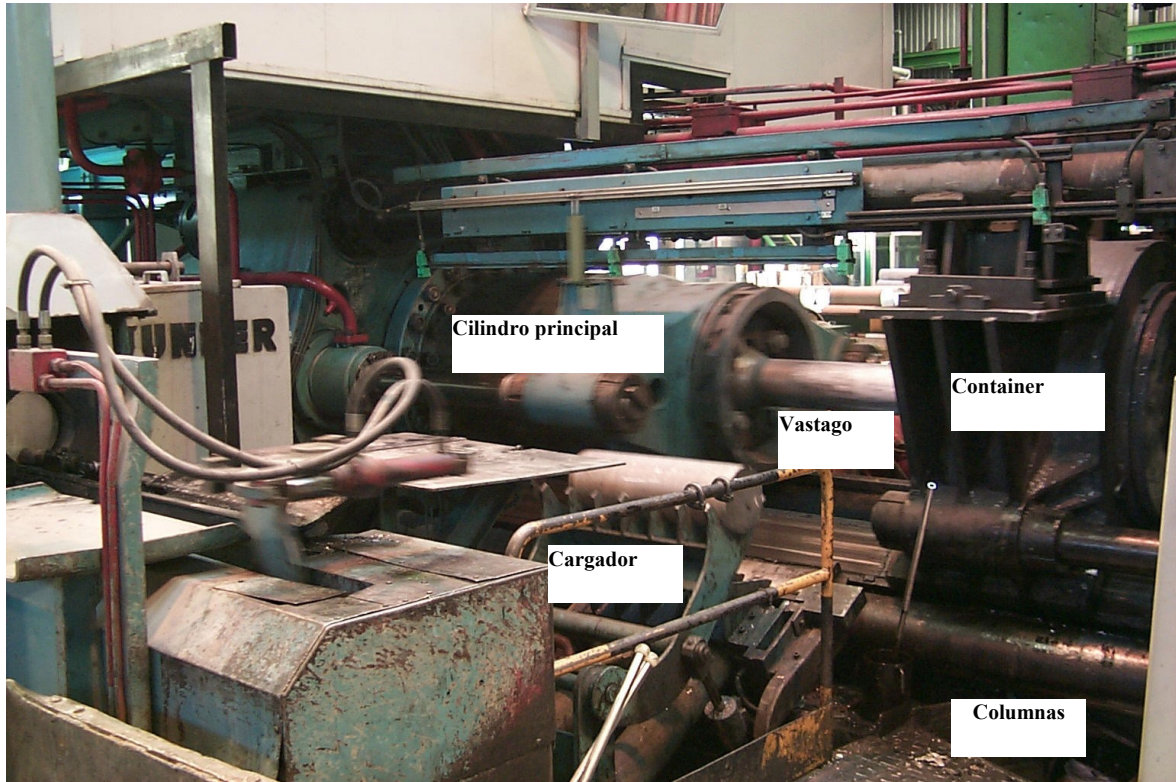
En la carcasa del cilindro principal se amarran las 4 columnas, y dependiendo del concepto de prensa, pueden amarrarse también los cilindros del contenedor (container)

c) Pistón principal

Es una pieza que se desplaza en el interior del cilindro. Su construcción se realiza en acero moldeado y su función es la de transmitir la presión, (200 a 300 Kg/cm²), por medio de un vástago de presión y un disco de presión fijo actualmente sobre el tocho de aluminio que va a extruirse.

La estanqueidad entre el cilindro principal y el émbolo se asegura por un sistema de cierre (empaquetadura), cuya naturaleza varía con el tipo de fluido que se emplee. Cuando se emplea agua, la empaquetadura suele ser de cáñamo encebado o de caucho sintético y, en el caso de aceite, caucho ó segmentos de acero.

El conjunto recipiente-pistón se apoya en un bastidor de acero moldeado por medio de una cuña de caras paralelas.



El pistón principal es ayudado ó complementado a su vez por dos pistones laterales, de sección mucho más pequeña, que se utilizan como guiada y para realizar movimientos rápidos de traslación cuando no se realiza presión de extrusión.

d) Vástago de presión (Stem ó Ram)

El vástago de presión es la parte saliente del pistón principal que entra en el container y presiona, a través del disco de presión al tocho, deformándolo y haciéndole fluir a través de la hilera. Esta pieza no forma parte del mismo bloque del pistón principal, sino que va unida al mismo por medio de unos tornillos y un sistema de especial de sujeción.

Según esto debe soportar los esfuerzos elevados de compresión, sin torcerse, ni desalinearse del eje de la prensa ni romperse. En esta función, el pistón depende de su propia dureza y de la ausencia de diferencia de tensiones de su sección, esto es, durante el trabajo los esfuerzos deben estar uniformemente repartidos en toda la sección.

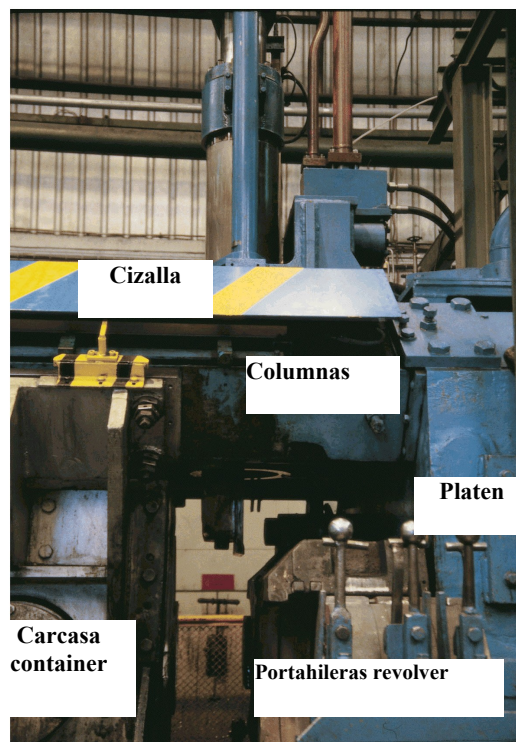
El acero templado para su fabricación ha de ser de alto contenido en cromo, tungsteno y molibdeno. El tratamiento térmico del mismo ha de ser tal que su dureza alcance los 450 a 500 Brinell. Generalmente no está sometido a temperaturas extremas, pero su resistencia es precisa para absorber los esfuerzos de compresión a los que está sometido, además de los ciclos de fatiga.

e) Base y fundaciones

La prensa se apoya en un bastidor de fundición de dos partes. El travesaño del cilindro principal está anclado en el bastidor por medio de tornillos de dilatación. Estos pueden absorber golpes axiales. El desplazamiento del émbolo se realiza sobre unas vigas paralelas de guía sobre los soportes de presión y a través de patines ajustables que permitan la corrección de posibles desalineamientos. El platen está simplemente apoyado, sin sujeción ó amarre al suelo.

f) Placa de presión ó platen

Llamada así por soportar la presión necesaria para la extrusión de los perfiles. Es la placa delantera de la prensa y está unida al conjunto mediante las columnas ó vigas rectangulares de tensión.





Esta placa contiene la boca de salida los perfiles durante la extrusión, y es donde se coloca el llamado anillo de presión, fabricado en acero forjado de alta resistencia dado que sobre él se ejerce la presión que los utillajes (hilera y elementos de apoyo-bloque) reciben del vástago de presión durante la extrusión.

Esta pieza tiene una importancia muy grande en la extrusión, porque si tiene alguna deformación producida por el apoyo de los utillajes o por el cizallamiento de los perfiles en el cambio de matrices, esta deformación produce roturas de hileras o utillajes ó excesivas flexiones, que producen perfiles de mala calidad o plantean verdaderos problemas al departamento de corrección de matrices. Por ello es muy importante revisar periódicamente el estado de este anillo y rectificarlo ó sustituirlo por otro nuevo si presenta cualquier tipo de deformación.

Un detalle importante a considerar es el diámetro del orificio de salida de este anillo de presión, porque si bien es verdad que cuanto más pequeño sea éste más se reduce las posibilidades de extruir perfiles de tamaños grandes, también se producen menores flexiones durante la extrusión en la hilera prologando la vida de la misma y obteniendo perfiles de mayor precisión dimensional. Por ello se busca un punto de equilibrio entre estas dos posibilidades a la hora de diseñar ó seleccionar las dimensiones del anillo de presión.

g) Panel de mandos

Es el tablero donde se encuentran todos los dispositivos de maniobra que el operador de la prensa manipula para el manejo de la misma. El panel de mandos se intenta que sea lo más gráfico posible, de modo que el operador encuentre las máximas facilidades para el manejo del mismo, evitando así considerablemente las falsas maniobras que originan importantes averías. En él se reflejan así mismo, los diferentes programas de extrusión, (extracción de aire, arranque de culote, cizallado del mismo, movimientos de cada elemento, etc.).

Las prensas vienen equipadas con paneles de mando desde su construcción. El panel principal se encuentra situado en una zona desde donde el operador de la prensa puede supervisar todos los movimientos de la misma. El segundo panel se sitúa junto a la boca de la prensa de modo que el operador pueda variar la velocidad de extrusión



(mediante regulación del caudal de las bombas) mientras controla la salida del perfil, ó parar la prensa instantáneamente ante cualquier emergencia, sin necesidad de acudir al panel principal. Este panel digamos secundario, dispone de menos elementos.

En los paneles de mando queda incluso reflejados esquemáticamente los circuitos que sufren alguna anomalía, facilitando así el conocimiento del operador y la labor del equipo de mantenimiento. Actualmente los pupitres de mandos están dotados de un ordenador para gobernar muchas de las funciones, y para detección de posibles averías.

h) Carcasa del container

La carcasa del contenedor (container) es la parte de la prensa donde se aloja el contenedor ó container. Es una pieza de fundición que se desplaza, generalmente, por medio de dos émbolos cuyos cilindros pueden ir alojados en la placa trasera de la prensa (cilindro principal) o placa delantera (platen). Esos cilindros del container sirven para realizar la presión de sellado entre el container y la hilera en el momento de la extrusión, evitando los escapes de aluminio (las famosas tortas de aluminio).

La fuerza que ejercen estos émbolos para mantener bajo presión el conjunto container-liner durante la extrusión y evitar así que el aluminio pueda escaparse entre la cara de sellado o de contacto del liner o camisa con la hilera, depende de la fuerza de la prensa de extrusión. Cuanto mayor sea la prensa, mayor será la fuerza necesaria de sellado.

Por ejemplo, para la prensa de 2000 Tm. la fuerza de sellado de estos émbolos es entorno a 250 - 300 Tm. entre los dos, es decir, de 125 a 150 Tm. cada uno.

Dado que el tocho que se está extruyendo queda adherido a las paredes de la camisa tras realizar la expansión del aluminio tras el ciclo de eliminación de aire e incrustado en la propia hilera, de modo que en algunas ocasiones es necesario retroceder el container sin haber terminado la extrusión del tocho, también estos pistones laterales del container necesitan aplicar a la carcasa del container una fuerza de retroceso que, en el ejemplo citado, puede alcanzar un valor de 100 a 130 Tm. cada uno.

La carcasa lleva, asimismo, dispuestas unas zapatas en su parte inferior, por medio de las cuales se desplaza a lo largo de la base de la prensa. Este desplazamiento es



necesario para la carga del tocho, así como para la retirada del culote, bien sea por medio de cizalla o por arranque, para el cambio de hileras, etc.

A su vez las zapatas pueden ser reguladas en altura por medio de unos tornillos. De esta forma es posible alinear el conjunto carcasa-container-liner con el pistón y el centro de la hilera, en definitiva, con el eje de la prensa.

Hay sistemas de calentamientos de containers en los que los elementos de calefacción están acoplados en el interior de la carcasa mediante una disposición de resistencias.

i) Container y camisa del container (liner)

Llamamos container ó contenedor a la pieza utilizada en una prensa de extrusión, cuya misión es soportar o alojar al liner o camisa donde se aloja el tocho durante la extrusión.

Además de contenedor, realiza la función de elemento resistente, absorbiendo los esfuerzos que le transmite el liner debidos a la fuerza de extrusión. De esta manera evita roturas prematuras de la camisa.

La retención de este conjunto container-liner es esencial, en el sentido de disminuir las tensiones en la camisa dentro del límite elástico del acero con el que se ha construido la camisa. El acero que se utiliza para la fabricación de containers es un acero forjado de cromo-níquel-molibdeno. La fabricación ha de ser muy cuidada para conseguir posteriormente buenos resultados en su utilización.

El container es el utillaje más caro que se emplea en una prensa de extrusión, debido a la calidad necesaria del acero y a sus grandes dimensiones. La dureza necesaria después de su tratamiento térmico, ha de ser del orden de los 300 a 350 Brinell. El tratamiento térmico ha de realizarse de forma tal, que sus características sean estables durante su utilización a las temperaturas de trabajo a las que va a estar sometido.

Se deben evitar calentamientos o enfriamientos demasiado rápidos, o calentamientos elevados, ya que dadas las características del acero y sus condiciones de resistencia, se podría originar un deterioro rápido del container.

La función del liner o camisa es resistir los efectos abrasivos del tocho durante la extrusión, debido al elevado rozamiento de este contra las paredes de su diámetro interior. Las presiones que ejercen las bombas de la prensa de extrusión, producen tensiones de compresión radiales y tensiones de tracción tangenciales muy elevadas en las paredes de la camisa.

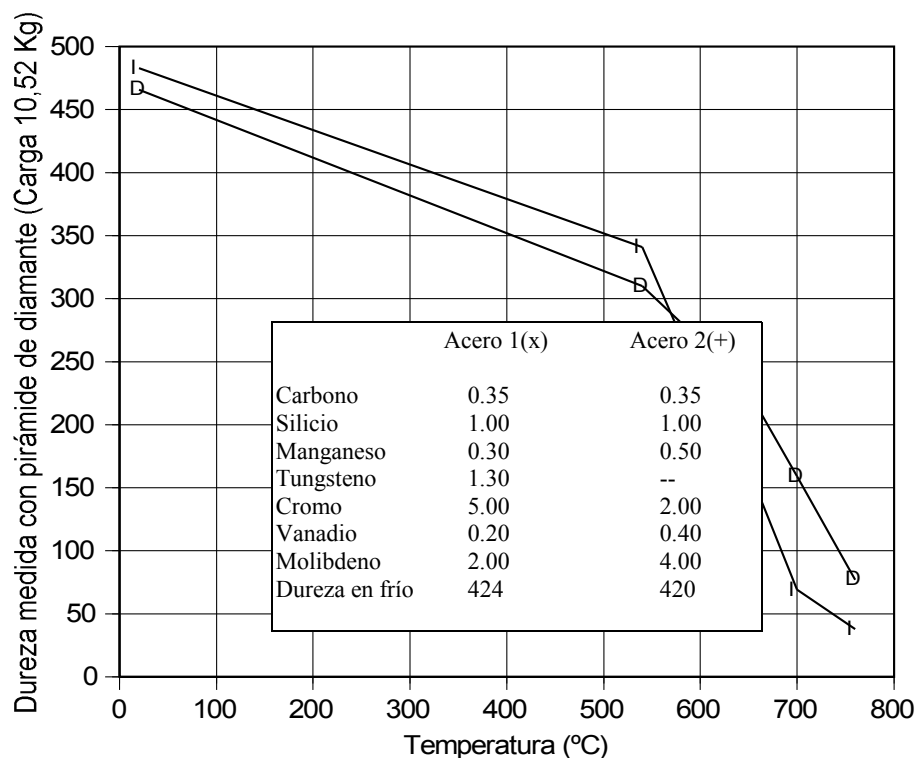
Las tensiones tangenciales revisten una mayor importancia. Las camisas se calculan como si se tratara de tubos de pared gruesa. La tensión tangencial máxima debe ser inferior en un 15 - 20% al límite elástico en caliente del acero con el que está fabricada la camisa.

Por ello el liner debe tener una elevada dureza incluso e altas temperaturas. Lo que gana en dureza pierde, sin embargo, en límite elástico, de ahí que el container sea el elemento resistente de la camisa a la vez que su soporte.

El acero empleado es de alto contenido en cromo, molibdeno, vanadio, tungsteno.

En la siguiente gráfica podemos ver una comparación de dureza en un intervalo de temperaturas entre dos tipos de acero para trabajos en caliente.

Temperatura(°C)	Dureza medida con pirámide de diamante (Carga 10,52 Kg.)	
	Acero 1 (x)	Acero 2 (+)
20	466	483
540	310	341
595	270	243
650	226	164
700	159	69
760	77	38



La camisa ha sido tratada térmicamente de modo que la dureza obtenida sea del orden de los 400 a 450 Brinell. Por ello resulta una pieza muy dura, de alta resistencia y bajo límite elástico. Es importante trabajar a temperaturas lo más bajas que nos permita obtener una buena calidad en los productos extruidos, menor será el desgaste de la camisa y mayor su duración. Temperaturas elevadas son innecesarias e incluso contraproducentes para los propios perfiles.

j) Disco de presión y empujador fijo

El vástago o Stem tiene un diámetro inferior al diámetro de liner o camisa de orden de 4-6 mm., de modo que, durante la extrusión no ejerza éste ningún rozamiento sobre la camisa.

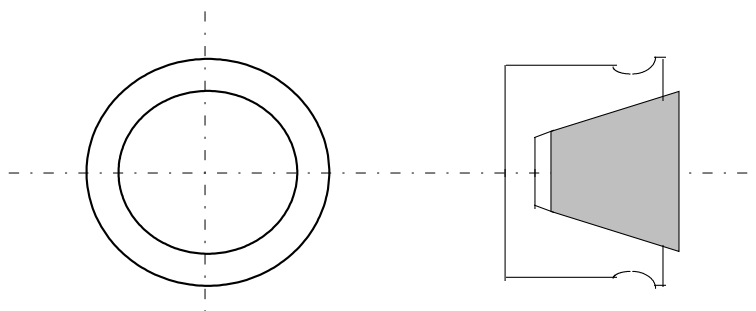


Figura 2.3.2a-Empujador fijo



Si el vástago empujara directamente sobre el tocho, el aluminio se incrustaría entre él y la pared de la camisa, quedando aprisionado dentro de ésta y haciendo imposible la extrusión.

Este problema queda resuelto utilizando un empujador fijo (de la misma calidad que el acero empleado en la fabricación de matrices) (*Figura 2.3.2a*).

Antiguamente este problema quedaba resuelto utilizando un disco de acero (de la misma calidad que el acero empleado en la fabricación de matrices), conocido con el nombre de disco de presión (*Figura 2.3.2b*).

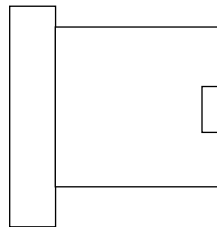


Figura 2.3.2b- Disco de presión

El diámetro mayor es el que va a estar en contacto con el tocho y su valor es del orden de 0,2-0,3 mm., menor que el diámetro de la camisa del container. El diámetro menor es el mismo que el diámetro del vástago de presión y es el que estará en contacto con el propio vástago.

En la actualidad el disco de presión es fijo, estando solidario al vástago de presión mediante una rosca. Antes había que recogerlo cada vez que hacía un ciclo.

El grueso del disco de presión está en función del tamaño de la prensa. Para prensa de 1600 a 2500 Tm. éste varía entre los 70 y 90 mm. La anchura de la superficie de mayor diámetro es del orden de 20-30 mm.

El vástago de presión se comporta además como un acumulador térmico. En efecto, durante la extrusión el tocho va aumentando su temperatura, debido al rozamiento entre sus moléculas por la deformación que experimenta y al rozamiento con las paredes de la camisa.

La mayor parte de este calor es absorbido por la propia camisa y otra parte la absorbe el disco de presión. Por ello es conveniente enfriarlo periódicamente.

k) Disco de limpieza

Se llama así al disco que se utiliza para arrastrar la fina capa de aluminio que se queda adherida a las paredes de la camisa, como consecuencia de la holgura existente entre el disco de presión y el diámetro de esta.

Esta capa, rica en óxidos de aluminio, dado que su mayor parte pertenece a la corteza de los tochos, si no se limpia con cierta periodicidad, puede ocasionar problemas de calidad en la superficie de los perfiles.

El disco de limpieza es similar al disco de presión (*Figura. 2.3.3*). Generalmente tiene tres diámetros. Uno de ellos es igual al del disco de presión y es el que primero se introduce en la camisa, a modo de guía, el diámetro intermedio, 5-6 mm. inferior al anterior, donde se acumula la capa arrastrada y el diámetro de limpieza cuyo valor es de 0,1-0,15 mm. menos que el diámetro de la camisa.

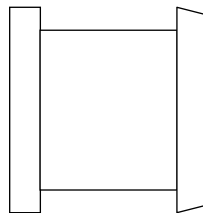


Figura 2.3.3 Disco de limpieza

l) Portahileras

El portahileras es el dispositivo de la prensa donde se aloja la hilera, generalmente montada sobre un anillo (die-ring) y los elementos de apoyo: bloque y espalda.

Existen varios sistemas de portahileras y actualmente la tendencia de los nuevos sistemas es a reducir los tiempos muertos necesarios para el cambio de hileras, a asegurar su alineamiento con el eje de la prensa y a facilitar la operación de cambio del operador.

Los sistemas más utilizados son portahileras deslizante de cassette (die slide) y porta- hileras giratorio (tipo revolver).

El sistema de porta hileras deslizante (*Figura 2.3.4*) está situado en la placa delantera de la prensa, entre dicha placa y el contenedor. Su movimiento lo realiza desplazándose a derecha e izquierda respectivamente, por medio de un émbolo cuya carrera está controlada de forma que los vaciados, donde se colocan la hilera y elementos

de apoyo, coincidan con el eje de la prensa, y por lo tanto con el eje del orificio de salida del anillo de presión. El final de carrera del émbolo, cuando éste se encuentra fuera del cilindro, está controlado por un tope, ajustable por medio de un tornillo.

Este tipo de portahileras dispone de dos alojamientos para los utillajes de extrusión, de modo que antes de terminar la orden de trabajo con uno de ellos, pueden estar dispuestos en el otro los utillajes necesarios para la extrusión con otra matriz diferente, sin ninguna pérdida de tiempo.

El recorrido lo hace a lo largo de una bancada sujeta al platen de la prensa, disponiendo ésta de unas guías de bronce que permitan rápidamente su reposición con un costo mínimo, consiguiendo así la alineación en el sentido vertical de este portahileras. La alineación horizontal se logra con la carrera y los topes del vástago que lo desplaza.

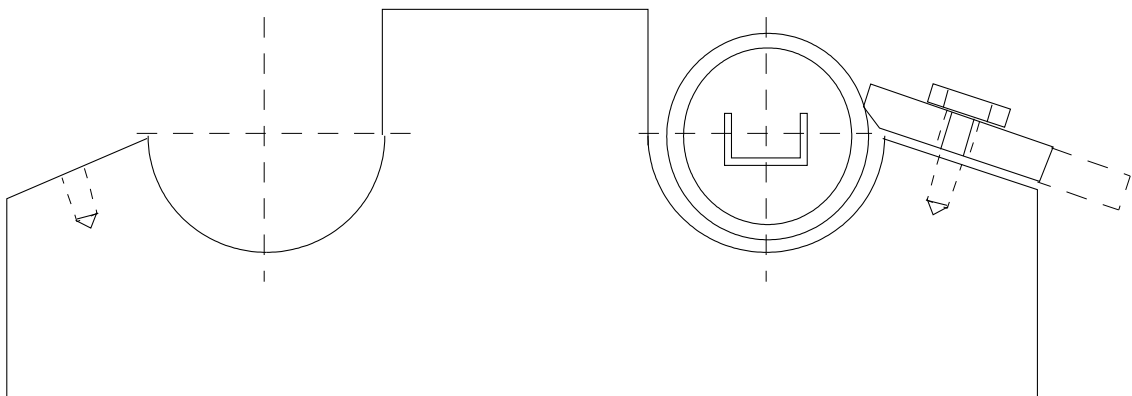


Figura 2.3.4 Portahileras deslizante (die slide)

El sistema de portahileras giratorio (*Figura 2.3.5.1*), al igual que el deslizante dispone de dos alojamientos para los utillajes, eliminando así la pérdida de tiempo en el cambio de los mismos.

Su situación en la prensa es igualmente la misma que la del portahileras deslizante, solo que su movimiento lo realiza de forma distinta.

Este portahileras gira sobre un eje central produciéndole el movimiento de giro un sistema piñón-cremallera. Una disposición de gatillos equipados con unos muelles sujetan los utillajes, impidiendo una caída durante el movimiento de giro que los coloca en el eje

de la prensa. Una vez realizado este movimiento, unos enclavamientos hidráulicos sujetan el portahileras durante la extrusión, impidiendo su movimiento.

La ventaja que ofrece este sistema frente al deslizante, es que la carga de los utillajes se realiza siempre por el lado del operador de la prensa, mientras que el otro se realiza una vez a cada lado de la prensa.

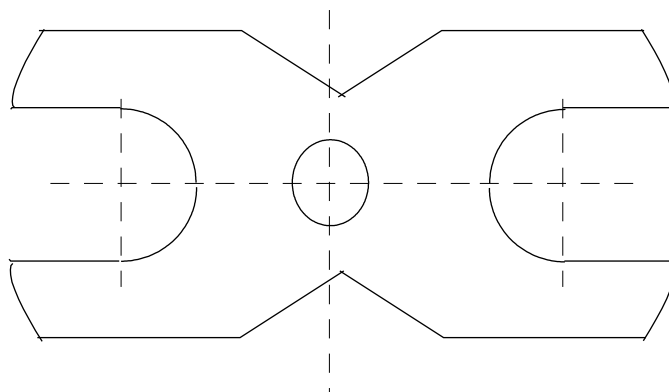


Figura 2.3.5.1- Portahileras giratorio (tipo revolver)

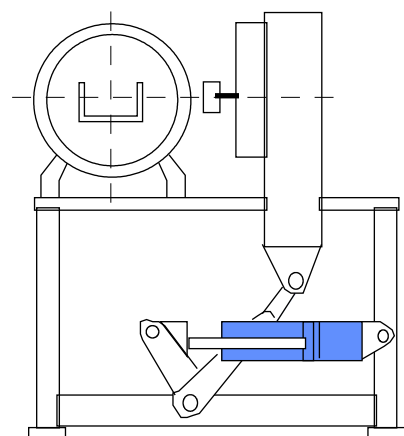


Figura 2.3.5.2- Sistema de carga

m) Cargador de tochos

Llamamos cargador ó alimentador de tochos al dispositivo de la prensa de extrusión que coloca el tocho precalentado desde el horno de inducción de tochos, entre el vástago de presión y el orificio de la camisa del container donde se aloja el tocho para ser extruido.

Generalmente se trata de un dispositivo que consta de un brazo accionado hidráulicamente. Este sistema tiene dos velocidades, una rápida de aproximación en el momento de la carga y en el primer recorrido del retroceso. Con esto, se pretende reducir al máximo los tiempos muertos de prensa.

El cargador de tochos lleva consigo una instalación complementaria, que consta un aproximador o alimentador intermedio del tocho desde el horno de calentamiento al cargador mediante un camino de rodillo cónicos u otro mecanismo.



n) Cizalla

La cizalla es otro dispositivo auxiliar de la prensa de extrusión que tiene por objeto cortar o despegar el culote de tocho que queda adherido a la hilera. La eliminación de este culote es debido a varios motivos que en otros apartados se analizarán.

La cizalla consta de un cilindro hidráulico sobre el que se desplaza un vástago, en cuyo extremo lleva acoplada una cuchilla. El desplazamiento de este vástago es vertical, de modo que al finalizar cada ciclo de extrusión, una vez que se ha separado el container de la hilera, desciende el vástago hasta que la cuchilla corta o separa el culote de la hilera, volviendo entonces a retroceder a su posición original.

Cuando la prensa dispone de portahileras giratorio, la fuerza de giro no solamente ha de ser la necesaria para realizar el movimiento del mismo, sino además ha de ser tal que corte los pedazos de perfil que han quedado entre la hilera y la boca de la prensa, (sobre todo tratándose de perfiles huecos). Entonces, puede ocurrir que la sección de algunos perfiles sea relativamente grande y la fuerza de giro del portahileras no sea suficiente para seccionar dicho perfil. Para resolver este problema, algunas cizallas disponen de un dispositivo auxiliar que consiste en un segundo vástago en cuyo extremo hay una bola. Cuando se ha terminado la extrusión del perfil, se acciona en primer lugar este vástago, después de haber desbloqueado previamente el portahileras, el cual hace girar el mismo a la vez que corta el perfil en la sección situada entre la cara del bloque y el anillo de presión.

La distancia entre la cuchilla y la superficie de la hilera ha de ser lo más reducida posible (entre 2 y 3 mm. o menos), de modo que el corte sea lo más limpio posible y no se quede adherido el recorte del tocho a la misma.

Es necesaria una revisión periódica para comprobar que el afilado y estado de la misma es correcto en todo momento.

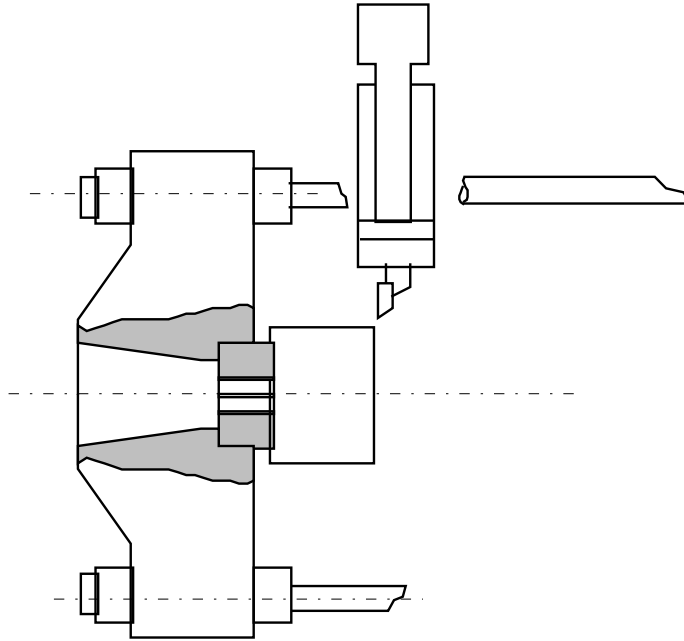


Figura 2.3.6- Esquema de una cizalla

o) Columnas de tensión

El número de columnas utilizadas en una prensa es cuatro. Son unas barras cilíndricas construidas de acero tipo F-127, cuya misión es hacer solidarias el platen (somier) donde se apoya la hilera y la carcasa del cilindro principal con la función de resistir el esfuerzo que realiza la prensa al empujar sobre la hilera.

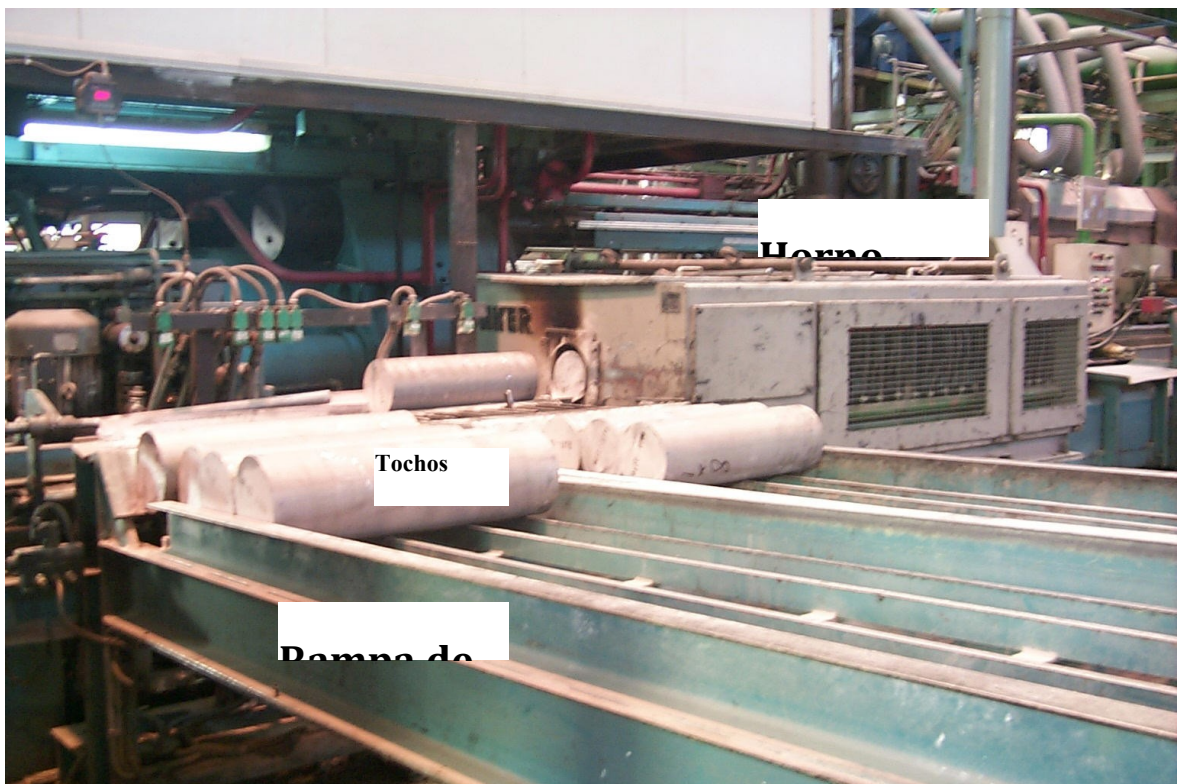
Actualmente se tiende a sustituir las columnas cilíndricas por vigas ó barras rectangulares ya que tienen una mayor rigidez, mejorando la precisión dimensional de los perfiles extruidos al disminuir las flexiones.

Estas columnas trabajan a tracción, y es el elemento mas crítico de la prensa, ya que aguantan todos lo ciclos que realiza la prensa.

Es muy importante que en el montaje, el pretensado (10% sobre la presión máxima de trabajo) se realice correctamente para que las cuatro trabajen igual, y no haya riesgo de fallos prematuros.

3.1.3.2.1.2. -Hornos de inducción

Antes de que el tocho se introduzca dentro del container de la prensa para ser extruido, es preciso someterlo previamente a un calentamiento, de modo que le confiera al aluminio una mayor plasticidad, con lo cual la presión necesaria para realizar la deformación plástica de la extrusión se reduce considerablemente. Sin calentamiento no pudiera darse la extrusión, ya que los útiles no aguantarían y además sería inviable la deformación plástica.



Este calentamiento debe realizarse dentro de unos límites determinados, condicionados en primer lugar por las propiedades mecánicas o características que debe adquirir el perfil extruido según la aleación y, en segundo lugar, por el aspecto superficial del perfil.

El sistema debe reunir una serie de condiciones necesarias para un correcto calentamiento: control preciso de la temperatura, sencillez de manejo, velocidad rápida de

calentamiento, calentamiento uniforme en cada sección transversal, máxima automatización y, por supuesto, máximo rendimiento.

En el horno de inducción el calor se genera dentro del mismo tocho, uniformemente a lo largo de su circunferencia y abarcando una capa que depende de la aleación del tocho. La zona de calentamiento está definida por la propia bobina de inducción.

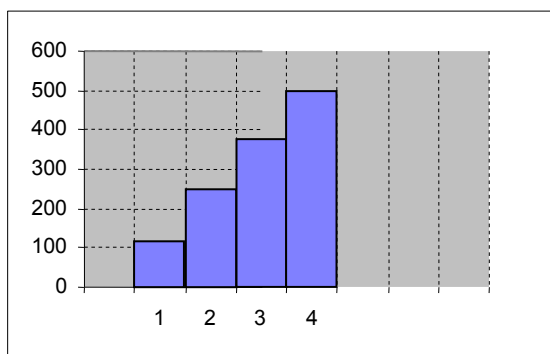


Figura. 2.3.7- Distribución de temperatura en las 4 diferentes zonas dentro del horno de precalentamiento

En el horno de inducción la energía se suministra uniformemente a lo largo de la longitud del tocho. Esto se traduce en una elevación escalonada de la temperatura (*Figura. 2.3.7*), en donde los escalones de temperatura entre cada tocho son virtualmente los mismos.

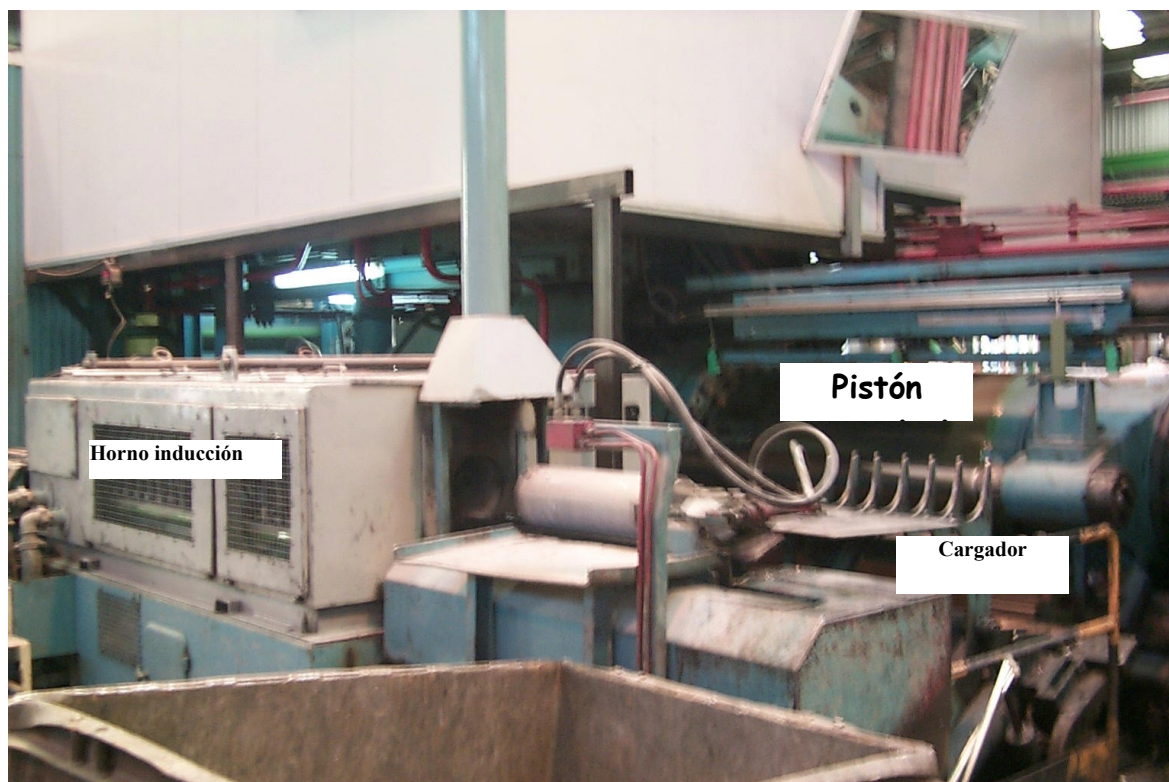
Los diferentes escalonamientos en la temperatura se pueden realizar con diferentes bobinas que calientan independientemente en cada zona a diferentes temperaturas de modo que cada una de ellas está conectada a un transformador independiente.

3.1.3.2.1.2.1- Principio de funcionamiento

El tocho a calentar es introducido en una ubicación en forma de tubo, por lo general de acero inoxidable y resistente al calor, alrededor de la cual y a una distancia lo más corta posible, de forma que el entrehierro sea el mínimo posible, va arrollada una bobina inductiva debidamente aislada.

Fuertes corrientes de frecuencia de red generan dentro de las espiras un campo magnético que, a su vez, induce corriente a los tochos transformada en calor.

Estas corrientes inducidas tienen, en el caso de frecuencia de red, una penetración relativamente profunda, por lo que se calienta una espesa corona del tocho. La diferencia de temperatura entre el borde y el núcleo del tocho provoca una corriente de calor hasta el interior del mismo hasta calentarlo prácticamente de forma homogénea. La profundidad de la corona calentada por inducción es del orden de los 10 mm.



3.1.3.2.1.2.2. Características

Las características del horno de inducción están en función de la capacidad de calentamiento que necesite la prensa. Esta capacidad ha de ser ligeramente superior a la máxima producción que pueda obtenerse con la prensa.

Suponiendo que la máxima producción que se pueda alcanzar con una determinada prensa es entorno a 1800 kg/h. Un horno apropiado para esta prensa sería aquel que tuviera una capacidad de calentamiento de 2200 a 2500 kg/h.



Para ello, serían necesarios unos transformadores con una potencia nominal de 500 a 600 KVA. La potencia de absorción sería del orden de los 470 a 530 KW a una tensión nominal de 500 V aproximadamente.

Debido al fuerte calentamiento que experimentan las espiras de la bobina, es necesario disponer de un circuito de refrigeración mediante agua, cuyo caudal es del orden de los 12 a 13 m³/h. circulando a una presión de 3 bares.

El horno está compuesto por un cuerpo de bobinas sujetas en un soporte de cuerpos magnéticos dispuestos en capas. Estos cuerpos, además de dar rigidez al sistema, tienen la función de hacer de retorno las líneas de fuerza magnética que pasan por los tochos cerrando así el campo magnético.

Cada bobina está enrollada con un perfil especial de cobre y es sometida al paso de agua para su refrigeración. La temperatura del agua de refrigeración no debe ser muy inferior a la del ambiente para evitar combustiones. La conducción del agua debe ser asimismo controlada y nunca debe salir por encima de los 50°C.

Para evitar que la bobina sufra sobrecalentamientos que pudieran quemarla, se dispone de unos sensométricos que controlan la temperatura de cada tramo de la bobina. Si uno de los tramos recibe poca cantidad de agua o no recibe nada, ésta se calienta rápidamente entrando en funcionamiento estos contactos que desconectan rápidamente el horno.

3.1.3.2.1.2.3- Dispositivos de alimentación y transporte de tochos

Existen varios sistemas que cumplen esta función que varían según la disposición del horno respecto de la prensa o según los espacios disponibles para la instalación.

La primera función consiste en colocar el tocho alimentando la boca de entrada al horno. Dicho sistema consiste en colocar una serie de rampas ó plataformas en un plano inclinado, en posición perpendicular al eje teórico del horno.



Esta plataforma o rampa tiene dos zonas; la primera, la más alejada del eje de la bobina, es la zona donde se deposita el paquete de tochos flejados, tal como los suministra la fundición; unas uñas metálicas, accionadas por un dispositivo neumático o hidráulico, impiden el paso de estos tochos a una segunda zona, que generalmente tienen una capacidad de almacenamiento de 5 o 6 tochos. De la misma manera dispone de otras uñas que impiden el paso de los tochos a la rodadura de alimentación.

En el extremo opuesto de esta rodadura, es decir, en el extremo más alejado de la boca de entrada a la bobina, se encuentra un pistón encargado de introducir en la bobina al tocho que se encuentra en la rodadura de alimentación. El funcionamiento del sistema es del siguiente modo:

Cuando el operador ó el sistema automático de llamada de la prensa llama al tocho, que se encuentra ya a temperatura dentro de la bobina, para introducirlo en la prensa, se retiran en primer lugar los termopares que “tocaban” al tocho a través de los cuales se realiza la lectura de la temperatura del tocho sobre un pirómetro; a continuación y de manera automática, se pone en funcionamiento el pistón al que hacíamos referencia



Al mismo tiempo, se introduce un nuevo tocho dentro de la bobina, este empuja al que se encuentra ya caliente sacándolo de la bobina, para colocarse en la rampa de alimentación del cargador de tochos de la prensa.

Simultáneamente las uñas de las dos zonas de la rampa de alimentación del horno permiten el paso de un nuevo tocho, de la primera zona a la segunda y de ésta a la ranura de alimentación del horno respectivamente.

3.1.3.2.1.3- Equipos de extrusión complementarios a la prensa

La prensa requiere de una serie de equipos complementarios para su funcionamiento. El manejo y movimiento de los perfiles, a partir del momento en que salen a través de la hilera, es de suma importancia en la operación de extrusión, pues en gran manera depende de ello el conseguir una buena calidad de los mismos y por consiguiente, una reducción de chatarras, incidiendo ambas cosas muy directamente en el costo de la extrusión.

Fundamentalmente, estos equipos son los siguientes:

- a) Mesa de salida.
- b) Sistema de corte.
- c) Desplazadores de perfiles.
- d) Pullers
- e) Canister
- f) Equipos de enfriamiento.
- g) Mesa de enfriamiento.
- h) Estirador.
- i) Mesa de almacenamiento.
- j) Camino de rodillos.
- k) Sierra de corte a medida.
- l) Mesa de corte.
- m) Banco de control.



El perfil cuando sale de la hilera, tiene una temperatura por encima de los 500°C y por ello, se encuentra en estado casi plástico, ya que funde a 660°C. En ese estado a 500°C cualquier rozamiento del mismo perfil con una pieza o material más duro produzca un roce en su superficie que puede ser motivo de rechazo. Por ello todas las instalaciones posteriores a la prensa deben estar diseñadas de acuerdo a la manipulación de este material muy sensible a los roces.

a) Mesa de salida

Es la mesa que se encuentra entre el platen de la prensa y la mesa de enfriamiento. Estas mesas pueden ser fijas o móviles. Al hablar de mesas móviles nos estamos refiriendo al movimiento vertical. Este movimiento puede realizarse por medio de un tornillo o por un sistema hidráulico que permite apoyar convenientemente los perfiles, según sus características y dimensiones, sobre la mesa inmediatamente después de haber salido de la hilera, evitando de esta manera, en algunos casos concretos, la deformación de los mismos debida a su propio peso.

En esta mesa, constituida por grafitos ó por rodillos de Kevlar, se sitúa el sistema de corte que vaya a emplearse cuando se trate principalmente de extrusiones de perfiles huecos.

Es conveniente sobre todo para facilitar el manejo de perfiles cuando se trata de extrusiones con hileras de múltiples salidas, que la longitud de esta mesa no sea muy corta y menos aún si va a utilizarse un sistema de corte simultáneo con la velocidad misma de extrusión.

Una longitud apropiada puede ser de 6 a 7 metros. En esta mesa, cubierta con placas de grafito para evitar los rozamientos de los perfiles con la misma ó rodillos de Kevlar, se colocan los Canister que sirven de guía de salida a los perfiles, de forma que no se tropiecen unos con otros. Una función similar tiene los puentes que se montan con placas de grafito sobre esta misma mesa.



b) Sistema de corte

Cuando se extruyen perfiles huecos, se hace necesario cortar a la salida de la prensa por lo menos cuando las tiras de perfil llegan hasta el final de la mesa, prolongación de la mesa de salida. También puede darse este caso si se extruyen perfiles sólidos empleando hileras con cámaras de alimentación.

Para realizar esta operación, se emplean distintos sistemas, entre los cuales podemos citar los siguientes:

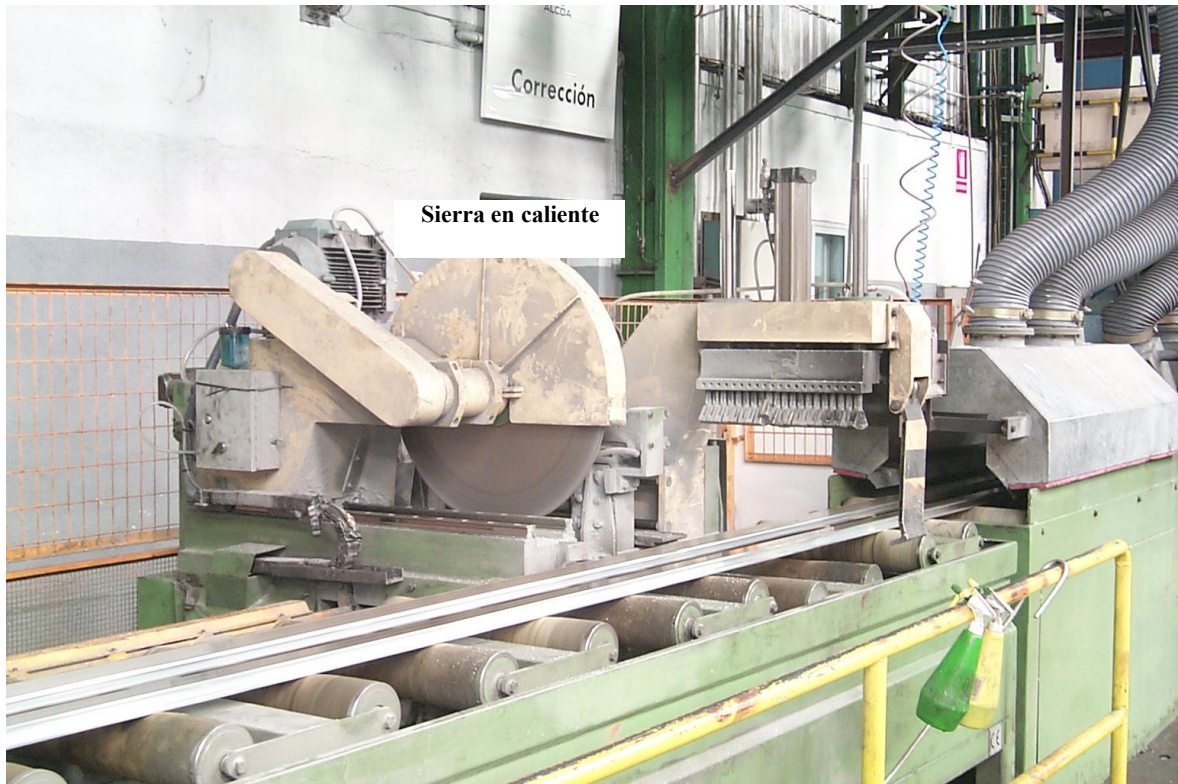
- Corte con disco de sierra
- Corte con acetileno

El corte con disco de sierra puede tener a su vez dos modalidades: sierra fija y sierra móvil.

La sierra fija generalmente está accionada por un sistema hidráulico que a prensa parada y de abajo arriba corta los perfiles, bien sea en la zona donde arranca la mesa de salida, junto al platen, o bien sea a una distancia determinada de la boca de prensa.

La sierra móvil o deslizante tiene la ventaja de que pueden cortarse los perfiles, aproximadamente por el mismo empalme de un tocho, a la misma velocidad de extrusión y por lo tanto sin necesidad de parar la prensa, evitando así pérdidas de tiempo y chatarra ya que se puede cortar por el empalme entre tochos.

Este sistema dispone para ello de una regulación de velocidad que le permite adaptarse a cualquier velocidad de extrusión. Además, ejerce a lo largo de la mesa de salida las funciones de un puller, debido a que antes de que la sierra se eleve para la operación de corte un prisionero sujeta los perfiles al tiempo que tira de ellos aprovechando el avance del sistema.



El otro sistema empleado en el corte de perfiles a la salida de prensa, es utilizando el calor que desprende la combustión e ciertos gases (los más empleados son el oxígeno y el acetileno), cuya mezcla tiene un poder calorífico elevado. La presión de estos gases oscila entre los 2 y 5 Kg. y de esta forma cortan (funden) el perfil en pocos segundos, pudiendo hacer esta operación a la misma velocidad de extrusión.

c) Sistema de desplazamiento de perfiles mediante cadena ó rodillos

Se llaman desplazadores de perfiles a los sistemas o métodos empleados para arrastrar los perfiles desde la salida de la hilera hasta el final de la extrusión de cada ciclo.

En los desplazadores de perfiles la velocidad de desplazamiento puede regularse en función de la velocidad de extrusión que se emplee en cada caso. Los sistemas más empleados son el camino de rodillos y el sistema de cadena.

El camino de rodillos, como su nombre indica, consiste en una mesa situada a continuación de la mesa de salida y que tiene una longitud igual a la mesa de enfriamiento. Esta mesa cuya anchura es de 60 a 70 cm. tiene en la parte superior y a todo lo largo una



serie de rodillos, separados entre sí unos 30 a 35 cm. Parte de estos rodillos son conductores (dotados de giro) y el resto conducidos ó locos. La velocidad de los conductores puede regularse desde el panel de mandos en función de la velocidad de extrusión.

Los rodillos, con objeto de no rozar los perfiles que se deslizan por ellos durante la extrusión, están forrados con grafito u otros materiales, como puede ser Kevlar que no dañen la superficie de los mismos.

El sistema de cadena consiste en dos cadenas paralelas de rodillos; ambas cadenas están unidas por una serie de travesaños, generalmente contruidos con un perfil de aluminio para que no alcancen un peso excesivo, forrado, en la zona que ha de estar en contacto con los perfiles que sé extruyan, con placas de grafito ó Kevlar al objeto de no rozarlos.

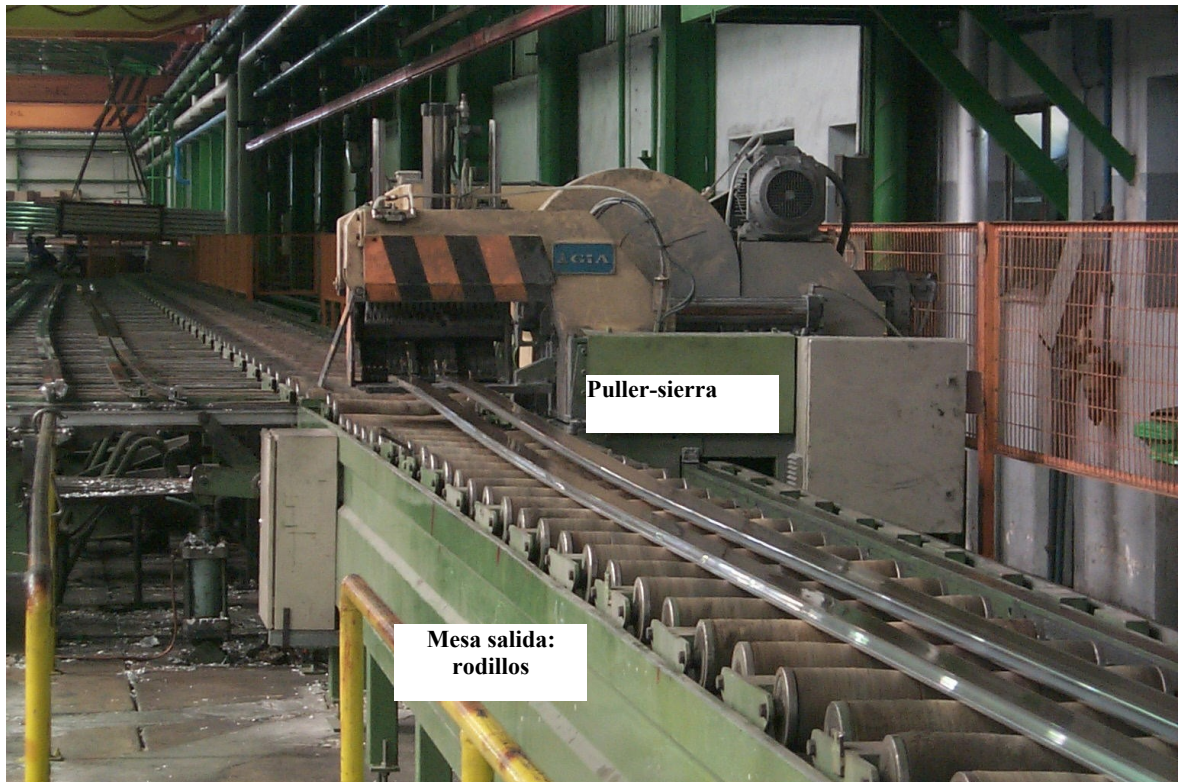
Cuando se ha terminado el ciclo de extrusión y es preciso retirar los perfiles de la cadena de enfriamiento, la cadena se para de modo que el punto medio del espacio existente entre dos travesaños coincida con el eje del brazo de recogida de que dispone la mesa de enfriamiento. Al igual que veíamos que los rodillos de arrastre podían regularse su velocidad, también la velocidad de la cadena es regulable de 0 a 150 m/minuto aproximadamente.

d) Puller mecánico

El puller es el sistema que, amarrado al perfil a la salida de la hilera, tira directamente de él hasta el final de la extrusión.

Consiste en un carro que se desliza a lo largo de la mesa de salida y su prolongación, sobre el sistema de arrastre, bien sea fijo o móvil.

El carro dispone de una o varias mordazas independientes que amarran al perfil tirando de él a una velocidad de extrusión, y con una tensión igualmente establecida por el operario, según sean las características del perfil a extruir. La velocidad puede variarse de 0 a 120 m/min según los movimientos y diferentes condiciones-situaciones.



Dado los espacios reducidos con los que generalmente se cuenta en el área de trabajo de la salida de una prensa de extrusión, es importante que la instalación del puller no ocupe grandes espacios.

La sincronización con la prensa debe ser lo más perfecta posible, de manera que si durante la extrusión varía la velocidad del perfil, el puller reaccione de la misma manera. Igualmente, si por alguna razón hubiera de pararse la prensa, interrumpiendo el ciclo de extrusión, el puller debe pararse simultáneamente.

Una de las importantes ventajas que reporta la utilización de pullers es que con ellos se evita que los perfiles se interfieran unos con otros a lo largo de la mesa de salida y su prolongación, evitando así torceduras, roces e incluso provocando la parada de la prensa. También el puller reduce considerablemente la posibilidad de revirados de los perfiles. Este defecto es causa posteriormente de serios problemas en la utilización de los mismos.

e) Canisters

El canister es un sistema de guía de perfiles desde que estos salen por el último utillaje de apoyo (generalmente el bloque) hasta aproximadamente 1,5 a 3 metros de la cara exterior del platen. También los hay que son tan solo guías hasta que los perfiles atraviesan el ancho del platen; estos son los llamados canisters cortos.

Los primeros, o sea los largos, se componen de una cabeza de unos 20 cm. de anchura, de sección circular, fabricada con grafito y sobre la que se ha tallado la misma figura, con la correspondiente salida del bloque. El exterior de esta cabeza, para protegerla de roturas prematuras, está forrado de una chapa de acero.

Los canisters cortos, suelen construirse con varias placas de grafito, como si se tratara de la cabeza de un canister largo, posicionadas con pivotes, que eviten su giro, y recubiertas todas ellas con una chapa de hierro formando así un solo conjunto.

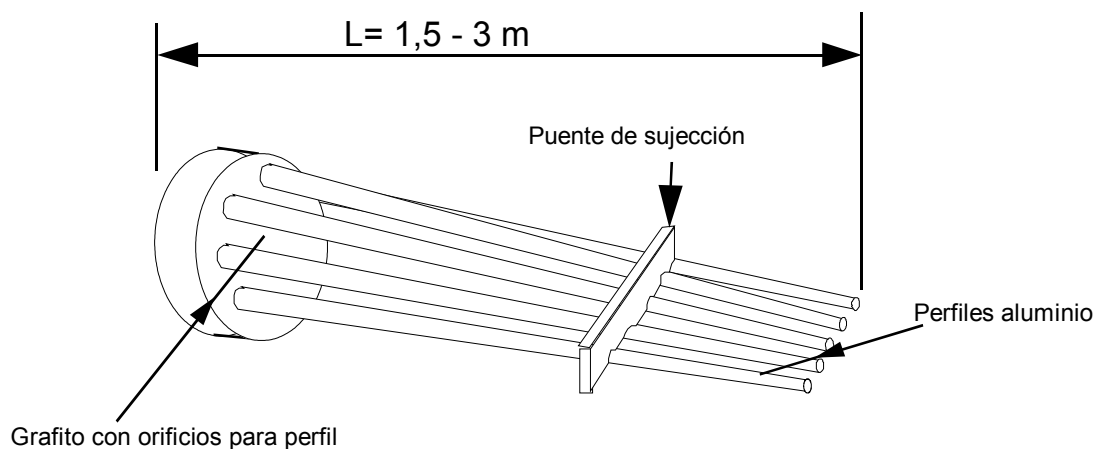


Figura. 2.3.8.1- Canister largo

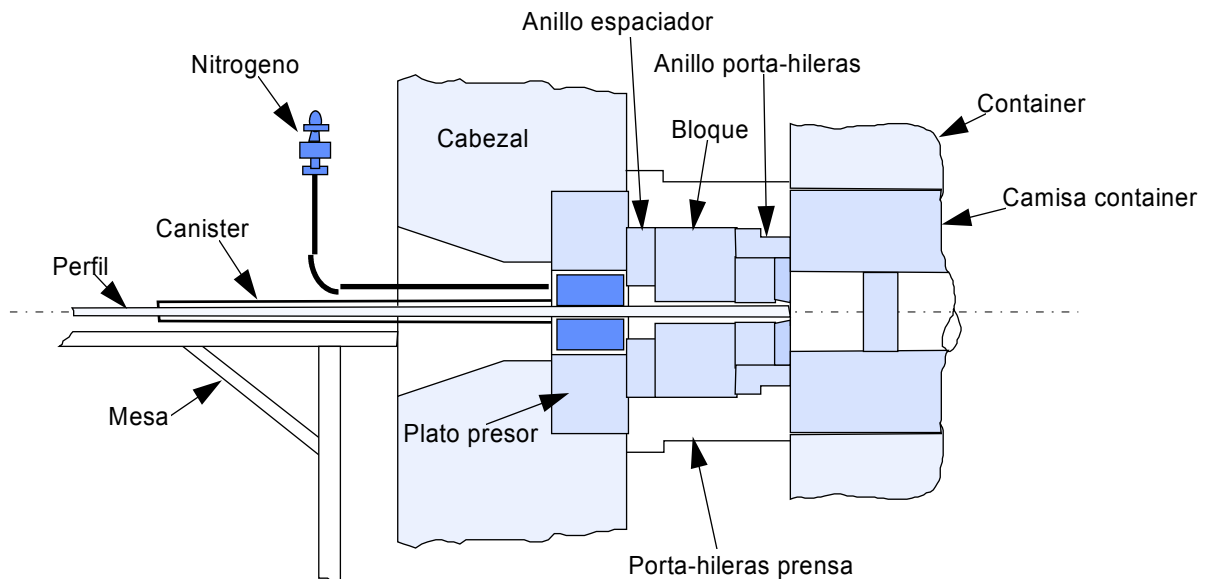


Figura 2.3.8.2- Detalle de montaje de canister

f) Equipos de enfriamiento

En la extrusión de la mayor parte de las aleaciones de aluminio es necesario, a la salida de la prensa, enfriar los perfiles con el objeto de obtener las características mecánicas necesarias para su uso posterior. Las condiciones de enfriamiento varían con el tipo de aleación, siendo suficiente el aire en movimiento forzado para algunas aleaciones (6063) y el agua para otras aleaciones mas críticas en su enfriamiento (6082, 6005, 7129...)

Por esta razón todas las prensas de extrusión deben estar preparadas con equipos que permitan las dos modalidades de enfriamiento, sobre todo si se prevé extruir con ellas aleaciones de distinta dureza.

Para las aleaciones blandas, es suficiente el uso del aire forzado aplicado sobre los perfiles a la salida de prensa. Con este fin, se coloca sobre la mesa de salida una batería de ventiladores, compuesta, por lo general de 6 unidades separadas unas de otras aproximadamente 2 m. Además de esta batería, suele instalarse en la prolongación de la mesa de salida, es decir junto a la batería de cadena de arrastre o camino de rodillos, otra batería de ventiladores.



Cuando se trata de extruir la aleación 6063 (AlMgSi-0,5) que es la más utilizada en la extrusión, las condiciones de enfriamiento deben elegirse de manera que se consiga una distribución del compuesto Mg_2Si (efecto endurecedor) lo suficientemente fina. Si la velocidad de enfriamiento fuera demasiado pequeña, daría lugar a la precipitación de gruesas partículas del compuesto citado, que al no disolverse ocasionarían resistencias menores en el perfil después del proceso de envejecimiento artificial.

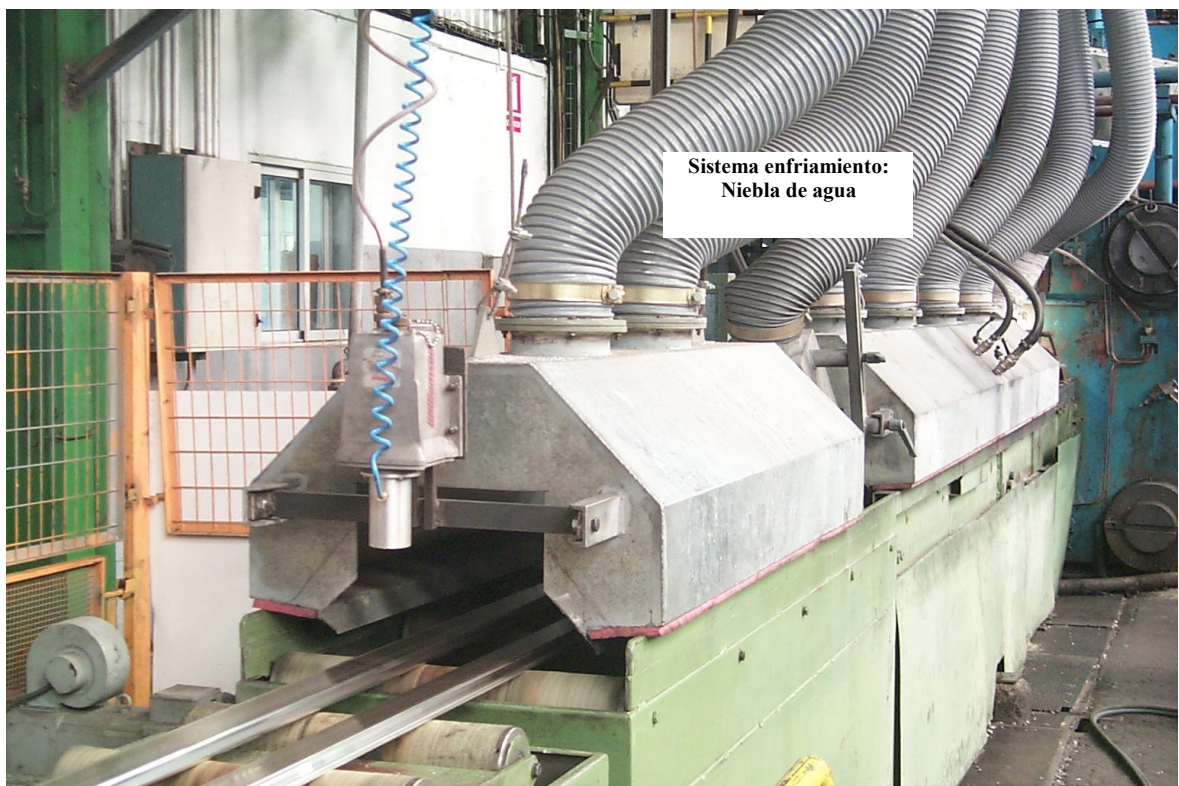
Los ventiladores que se sitúan encima de la mesa de salida, suelen estar equipados con un sistema de ducha fina de agua que al ponerse en contacto con el aire movido por el ventilador, forma una especie de niebla de agua, lo que permite conseguir una velocidad de enfriamiento más elevada.

Ahora bien, cuando se trata de extruir aleaciones duras, esta niebla de agua puede resultar insuficiente para realizar un buen enfriamiento, siendo necesario el empleo de un túnel de enfriamiento a base de agua corriente, que cubra en su totalidad el perfil al pasar por él. Este es el denominado enfriamiento por inmersión en agua.

Este túnel suele colocarse sobre la misma mesa de salida, siendo necesario en su instalación lograr un buen sistema de evacuación del agua, de manera que no quede retenida en la zona de la prensa, ya que de ocurrir esto, las molestias afectarían tanto a los operarios de las prensas como a los sistemas hidráulicos y a los circuitos eléctricos.

Es muy corriente que los túneles de agua consistan en un sistema de pulverización de agua que haga llegar el agua a toda la superficie del perfil que se está extruyendo. Otros sistemas consisten en conseguir una altura suficiente de agua dentro del túnel, de forma que el perfil se mantenga totalmente sumergido en ella cuando pasa por este sistema. El retener el agua es una labor difícil.

Cuando los perfiles se enfrían en túneles de agua se produce en ellos una torsión, debido a la fuerte contracción que han experimentado por las tensiones originadas. Esto origina una desviación por encima de lo normal en las dimensiones y planitud del perfil, por lo que las tolerancias que se aplican en estos casos, deben ser más amplias que las que se aplican a los perfiles que sólo necesitan un enfriamiento por aire.



g) Mesas de enfriamiento

Llamamos mesa de enfriamiento a la zona donde se almacenan los perfiles extruidos a la espera de ser estirados (enderezados) posteriormente. Se dice de enfriamiento porque, como ya hemos dicho en el anterior apartado, además de disponer también de una batería de ventiladores en su zona más próxima a la cadena de arrastre o camino de rodillos, en ella termina de enfriarse completamente el perfil, de modo que cuando llega éste al banco de tracción el operario pueda manipularlo sin protección alguna por encontrarse ya completamente frío.



Por las razones que se acaban de exponer, la mesa de salida de una prensa debe tener unas dimensiones en función del tamaño de la prensa y por tanto, en función de la productividad que se provee obtener. Estas dimensiones han de ser entonces las necesarias para que el perfil termine de enfriarse antes de la operación de estirado. Asimismo, deben permitir que los perfiles extruidos no se amontonen en la misma rozándose entre ellos.

Normalmente tienen una longitud entre los 40 a 60 m. y su ancho varía de 10 a 14 m. Precizando un poco más acerca de la importancia de las dimensiones de la mesa de enfriamiento, diremos que la longitud está influenciada por el tipo de extrusiones o perfiles

Proyecto Final de Carrera

que vayan a realizarse con más frecuencia en cada prensa determinada, es decir, que utilizando el tocho más largo permisible, la longitud de los perfiles resultantes de la extrusión de cada tocho sea igual o menor que la longitud de cada mesa.

Las mesas de enfriamiento pueden ser fijas o con accionamiento, siendo estas últimas las que más se emplean, por ser las más eficientes.

Los movimientos que realizan las mesas con accionamiento son principalmente dos, uno para retirar los perfiles que se encuentran sobre la cadena de arrastre y el otro para acercar los perfiles al stretcher.

Todas las partes de la mesa que están en contacto con los perfiles extruidos, están forradas con tiras de grafito, para evitar los roces de los perfiles con la misma.

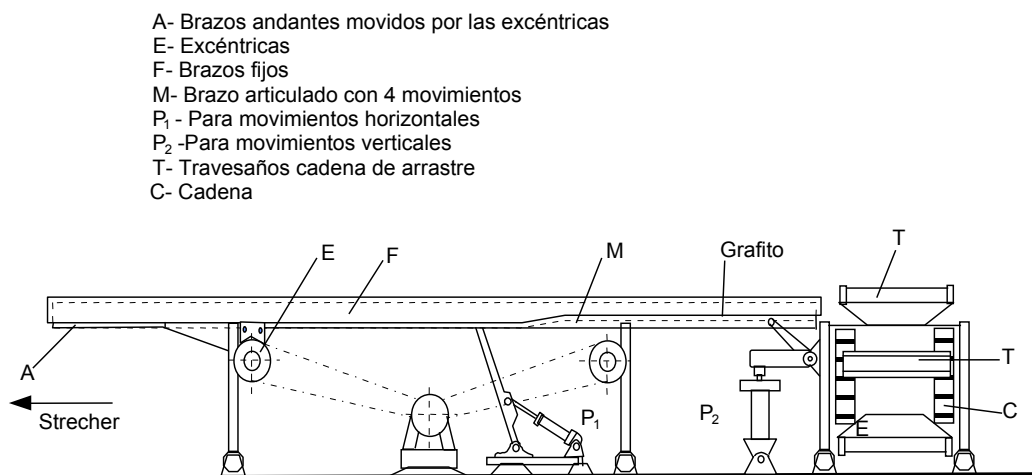


Fig. 3.8 Mesa de enfriamiento

Figura 2.3.9- Mesa de peregrino para traslación de perfiles entre la cadena y el stretcher.

En la actualidad la tendencia es a utilizar rodillos de Kevlar con mecanismo de elevación en vez de cadena, de modo que en vez de la mesa de peregrino se utiliza una mesa con cintas de Kevlar que tienen movimiento de traslación del perfil, evitando que los perfiles se golpeen. El mayor inconveniente es la vida de las cintas de Kevlar (material muy caro).



h) El Stretcher o estirador de perfiles

Los perfiles extruidos, después de haberse enfriado, son sometidos a una operación de estirado por dos razones principales. La primera de ellas es para *eliminar las tensiones residuales* que han quedado en los perfiles y la segunda es para *enderezarlos*.

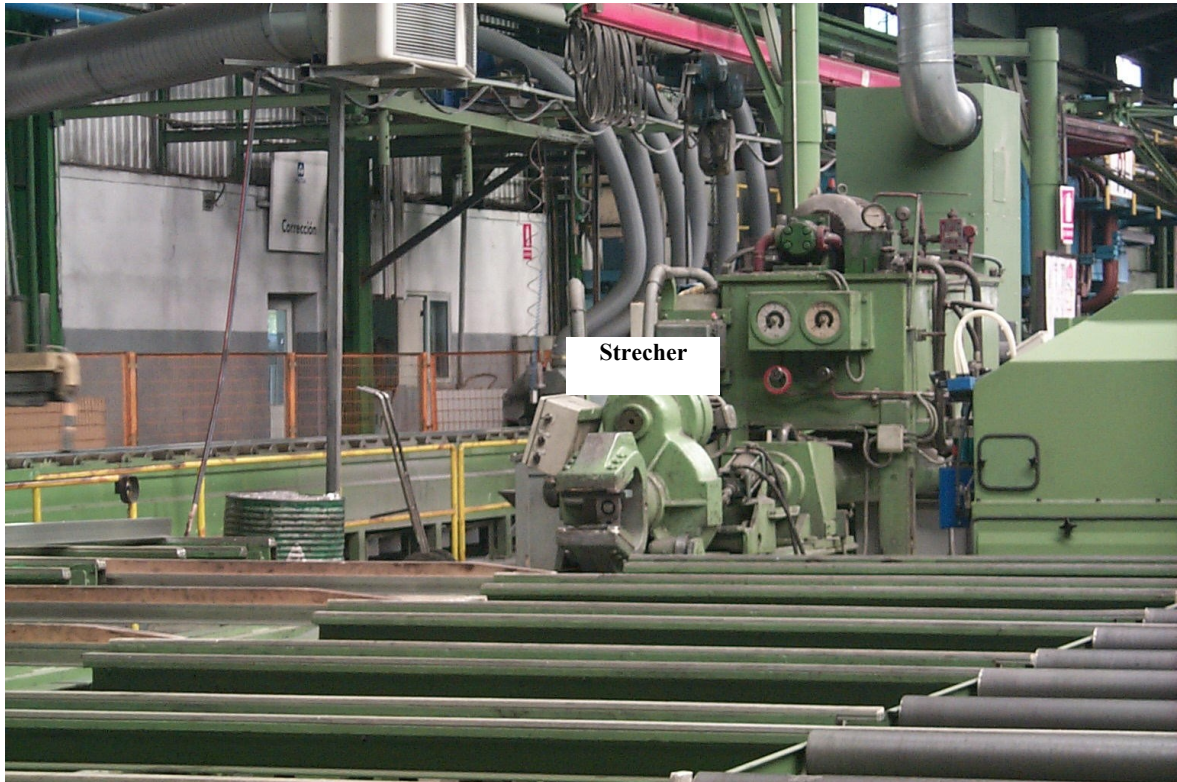
Para la eliminación de tensiones, es preciso aplicar una fuerza tal que supere el límite elástico consiguiendo un alargamiento del orden de 1 al 3%, según el tipo de perfiles. Sin embargo, para eliminar los posibles quiebros que presenten los perfiles después de la extrusión, tan solo se necesita sobrepasar ligeramente el límite elástico, es decir, sería suficiente $\frac{1}{2}$ % de alargamiento.

El stretcher ó banco de tracción es la máquina donde se realiza la operación de estirado de perfiles. El fundamento no es otro que el sujetar la tira de perfil, cuyo largo es el que se ha obtenido en la extrusión, por sus dos extremos mediante dos mordazas, una de ellas fija y la otra móvil, sometiendo al perfil a un esfuerzo de tracción.

Fundamentalmente, el stretcher se compone de una viga de acero, cuya longitud es 1 o 2 m. más que la longitud de la mesa de enfriamiento, sobre la que se desplaza el cabezal cuya función solo es sujetar el perfil y el cabezal sobre el que se aplica la fuerza de estirado. Este cabezal solo se desplaza sobre la bancada o viga de acero de 1 o 2 m., que es la longitud que tiene el vástago o émbolo que tira del mismo, mientras que el cabezal de sujeción puede desplazarse a lo largo de ella, según sea la longitud de las tiras de perfil obtenidas en la extrusión.

Ambos cabezales disponen de unas mordazas que aprisionan el perfil, impidiendo su deslizamiento durante el estirado. El cabezal que ejerce la fuerza de estirado y que normalmente se encuentra a la altura de la salida de la prensa donde finaliza el ancho de la mesa de enfriamiento, dispone, naturalmente, de un sistema hidráulico que mueve el émbolo, compuesto por un tanque para el aceite, la bomba y las correspondientes válvulas.

El cabezal opuesto, al que llamaremos contracabezal para diferenciarlo del primero, está montado sobre un carro que, como ya se ha dicho, se desplaza a todo lo largo de la bancada, según la longitud de las tiras de perfil. Este puede quedar posicionado cada 30 cm. más o menos, a lo largo de toda la bancada. Para ello dispone de un sistema de enclavamiento, de forma que no pueda ser arrastrado por el cabezal en la operación de estirado.



Además de las mordazas y el dispositivo de enclavamiento, el contracabezal también suele disponer de una cizalla con la que se cortan las puntas de perfiles, cuando se ha extruido con una hilera de múltiples salidas y no han ido todas ellas a la misma velocidad, hecho que ocurre con toda normalidad. De esta forma, quedan igualadas todas las tiras y no es necesario andar moviendo el contracabezal de posición para estirar cada una de ellas.

Esta es una simple cizalla mecánica manipulada por el operario que maneja el contracabezal. Para eliminar el esfuerzo del operario se construyen contracabezales con cizalla accionada hidráulicamente.

La fuerza del stretcher depende de la fuerza de la prensa para la que ha sido instalado. No es lógico que para la extrusión de perfiles pequeños, normalmente realizada con prensas pequeñas, se utilicen estiradores de gran potencia, pues esto originaría problemas de manejo e incluso problemas de calidad en los perfiles. Normalmente para prensas de 1600 a 2000 Tm. se emplean estiradores de 25 a 35 Tm.



i) Mesa de almacenamiento

Es la mesa que se encuentra situada entre el stretcher y la sierra de perfiles donde se realizan los cortes a la longitud solicitada por el cliente.

Su incorporación al equipo de extrusión a partir de la prensa ha sido debida al desarrollo experimentado en el diseño y fabricación de matrices con salidas múltiples, puesto que con estas hileras, las mesas de enfriamiento se llenan con más rapidez y la operación de estirado obliga incluso a estirar dos o más tiras a la vez. Las características de estas mesas son muy similares a las mesas de enfriamiento.

Existen tanto mesas fijas como móviles, a base de vigas andantes o de paso de peregrino. Estas últimas emplean el mismo procedimiento que veíamos en las mesas de enfriamiento, es decir, se componen de unos brazos fijos sobre los que se apoyan los perfiles y otros, movidos por excéntricas o por correas que se encargan de acercar los perfiles al camino de rodillos de la sierra.

Así como, tanto en los brazos fijos como en los móviles de la mesa de enfriamiento había alojados en la parte superior tiras de grafito para que los perfiles, todavía calientes, no se rayaran, los brazos de la mesa de almacenamiento llevan únicamente incorporados listones de madera dura para que no se dañen los perfiles con las partes mecánicas de los brazos del soporte.

Los brazos andantes de las mesas móviles se introducen en el propio camino de rodillos de la sierra, depositando suavemente los perfiles sobre el mismo. Sin embargo, hay mesas que disponen de unos brazos similares a los recogedores de las mesas de enfriamiento, los cuales retiran una cantidad de tiras de la mesa de almacenamiento, seleccionada por el operario de la sierra, al mismo tiempo que las depositan sobre la mesa de rodillos.

En todos los casos, tanto las vigas andantes como los brazos de recogida, al pasar los perfiles de la mesa al camino de rodillos quedan, en principio, a una altura ligeramente superior a la de los rodillos, para descender suavemente y depositar los perfiles sobre los mismos.

A- Brazos andantes movidos por las excéntricas
E- Excéntricas
F- Brazos fijos

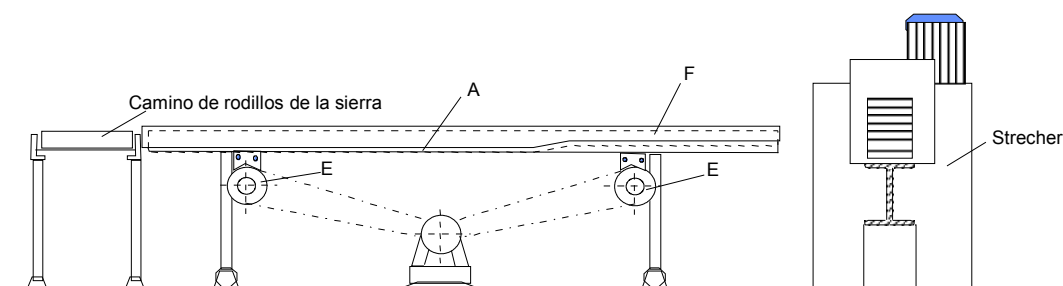


Figura 2.3.10- Mesa de peregrino para traslación de perfiles desde el Strecher al camino de rodillos de la sierra

En la actualidad la tendencia es a utilizar una mesa con cintas de poliéster que tienen movimiento de traslación del perfil, evitando que los perfiles se golpeen. El poliéster es un material válido ya que el perfil en este punto está a temperatura ambiente.

j) Camino de rodillos

El camino de rodillos, llamado así precisamente por ser el sistema empleado para el desplazamiento de perfiles en la mesa de la sierra, tiene una longitud ligeramente superior a las mesas de almacenamiento y enfriamiento. Su anchura oscila entre los 40 y 100 cm. Se trata de dos largueros metálicos arriostrados entre sí y unidos por su parte superior por una serie de rodillos que facilitan el movimiento de los perfiles hacia la sierra.

A lo largo de este camino se intercalan 3 o 4 cintas sinfín motorizadas, de 1m. de largo aproximadamente, cuya función es asegurar el movimiento de los perfiles hacia la sierra, sin necesidad de que el operario tenga que tirar de ellos.

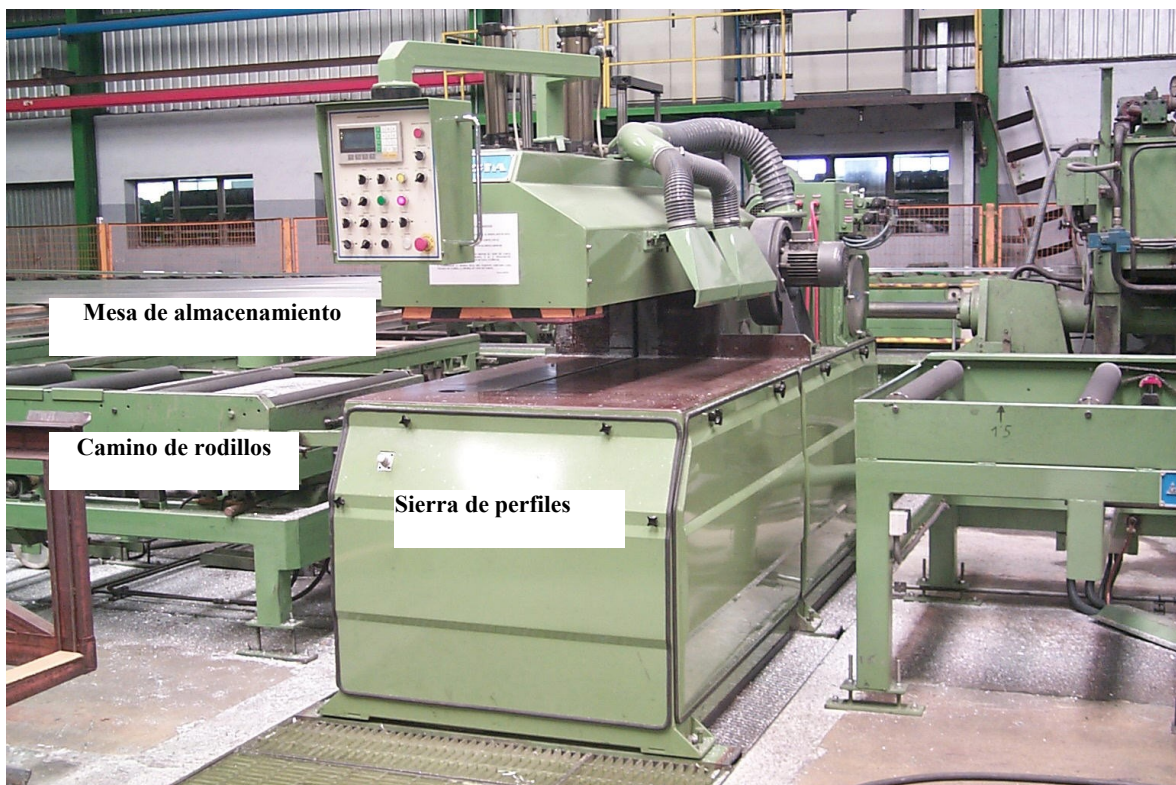
Los rodillos suelen tener unos 50 mm. de diámetro, están montados sobre rodamientos de bolas y recubiertos de plástico para que no se dañen los perfiles. La distancia entre ellos suele ser de 30 cm. El accionamiento de las cintas motorizadas está controlado desde el panel de mandos de la sierra por el operario de la misma.

k) Sierra de corte a medida

Se emplean sierras hidráulicas que automáticamente cortan los perfiles en longitudes previamente fijadas. Los discos que se emplean con este tipo de sierras son de 450 a 550 mm. de diámetro y tienen del orden de 120 dientes, están fabricados a base de acero cromo-vanadio y normalmente los dientes suelen ser de metal duro.

La sujeción de los perfiles suele ser manual, dado que con este tipo de sierra el operario dispone de ambas manos para la operación o puede ser automático por cualquier tipo de sistema de amarre.

Las sierras hidráulicas basculan sobre un brazo articulado describiendo un arco en su movimiento de avance en sentido interior-exterior de la mesa de corte. Este avance puede ser regulado en función de la sección de los perfiles a cortar o de la aleación del perfil. Cuanto mayor sea la sección del perfil, menor será el avance que ha de darse al disco; del mismo modo, cuanto más dura sea la aleación con que se han fabricado los perfiles, menor será el avance que debe llevar la sierra.





La lubricación necesaria en la operación de corte es también automática, bien por medio de una pequeña bomba o simplemente por la gravedad de lubricante empleado, el cual se hace pasar por un sistema de pulverización a base de aire. El lubricante incide sobre los dientes del disco y la sección de corte del perfil.

Es de básica importancia la adecuada selección del lubricante a emplear en la sierra, tanto para la vida del disco como para la calidad del corte, sin olvidar tampoco la huella que este lubricante puede dejar sobre los perfiles.

Debe vigilarse con frecuencia el estado del sistema de distribución del lubricante de manera que suministre la cantidad necesaria sobre la zona donde se realiza el corte, es decir, entre los dientes del disco y la sección de corte del perfil.

Estas sierras suelen estar también equipadas con sistemas de extracción de humos, evitando así molestias a los operarios. Pero aún es más importante el sistema que llevan para la absorción de virutas resultantes del corte. Esta operación se realiza por medio de un pequeño motor y un ventilador extractor que aspira las virutas, dado el pequeño peso específico del aluminio, a través de un tubo, depositándolas en un depósito cerrado, dispuesto a tal fin.

De esta manera se evita que la mayor parte de estas virutas se mezclen entre los perfiles ya cortados y posteriormente, en la sección de embalaje, si no se eliminan convenientemente, pueden originar serios problemas de roces en los perfiles en el transporte de los mismos principalmente, y ser motivo de devoluciones.

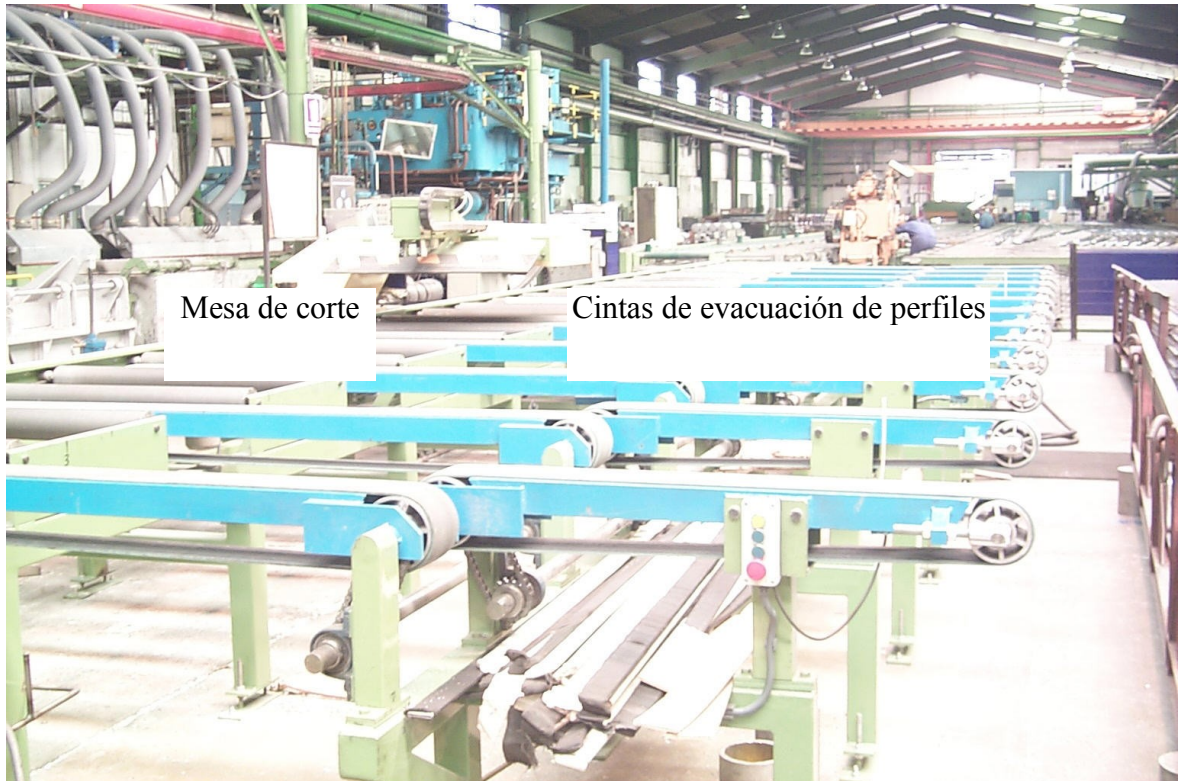
Para evitar este problema y dado que el sistema de aspiración no arrastra toda la viruta, se dispone junto con la sierra de una boquilla de aire a presión (4 a 6 Kg-s), con la que se realiza un último barrido de la viruta no absorbida por el aspirador.

Muy importante para la realización de un buen corte es la velocidad periférica o el número de revoluciones que debe llevar el disco de sierra, éstas suelen ser del orden de las 2800 a 3500 r.p.m.

1) Mesa de corte

La mesa de corte es simplemente una prolongación de la mesa de rodillos de alimentación de la sierra, sólo que ésta no necesita de cinta sinfín motorizada.

A todo lo largo de esta mesa, sobre la pared tope de la misma, se coloca una regla graduada con objeto de poder cortar diferentes longitudes de perfil sin necesidad de estar empleando constantemente la cinta métrica para posicionar el tope de corte.



Este tope de llanta metálica puede desplazarse a lo largo de la mesa de corte y además puede quedar posicionada bloqueándola por un sistema de apriete o por simples pasadores, de forma que no pueda moverse hasta que no se necesite variar la longitud de corte.

La longitud de esta mesa varía de 7 a 15 metros.



m) Banco de control

El banco de control consiste en una mesa nivelada donde se supervisan los perfiles, rayas o roces producidos en las mesas de enfriamiento, en la operación de estirado o en el corte, así como el posible revirado que pudieran tener algunos perfiles que no han sido convenientemente corregidos con el stretcher.

Después de haber pasado los perfiles por este control, pasan a las plataformas o containers para proceder a la operación de envejecimiento y su posterior transporte a la sección de embalaje.

Los perfiles se colocan en las plataformas convenientemente separados, para que no se rocen entre ellos, y para que el aire circule convenientemente entre ellos en el horno de envejecimiento. La separación suele hacerse con tiras de cartón ondulado de 30 o 40 mm de anchura, con barras de aluminio forrado, con listones de termotex o con listones de madera. Los primeros solamente pueden utilizarse una vez, dado que después del envejecimiento se quedan muy frágiles y se desmoronan con una ligera presión. Los listones de madera tienen el inconveniente de dejar marcas en los perfiles, por eso se deben evitar en perfiles frágiles. El termotex se usa de manera parecida al cartón, es más caro pero se pueden utilizar para varios tratamientos. El aluminio forrado se usa indistintamente para cualquier clase de perfiles, teniendo diversas ventajas respecto a los otros, se puede usar para muchos tratamientos, no dejan marcas en los perfiles.

El uso de un separador u otro depende del perfil y de la aleación que se ha extruido. En las hojas de trabajo de cada perfil viene detallado, entre otras cosas, la clase de separador que debe llevar ese perfil.



3.1.3.3- INSTALACIONES NECESARIAS PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ALEACIONES

3.1.3.3.1- INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de aluminio según los tratamientos térmicos que se les confieren se pueden obtener unas propiedades u otras. Por ello es interesante ver brevemente los procesos que se pueden dar para saber las instalaciones necesarias.

Según se ha visto en la clasificación de las aleaciones de aluminio, existe una serie de aleaciones que reciben tratamiento térmico y otra subdivisión para aleaciones que no son tratables térmicamente.

En la extrusión del aluminio, se denominan aleaciones de tratamiento térmico aquellas que pueden recibir un proceso de endurecimiento estructural mediante el tratamiento térmico.

Las aleaciones que solo pueden ser endurecidas por deformación en frío son conocidas como aleaciones no tratables térmicamente.

3.1.3.3.2- TRATAMIENTOS PARA ALCANZAR EL ENDURECIMIENTO ESTRUCTURAL

Las aleaciones que sufren estos tratamientos térmicos constan de tres fases o pasos:

- ◆ Puesta en solución
- ◆ Temple
- ◆ Precipitación

3.1.3.3.2.1- Puesta en solución

Es el tratamiento que permite obtener una solución sólida en caliente de alguno o algunos elementos en el aluminio y que al enfriarla más o menos rápidamente hasta la temperatura ambiente, retienen disueltos, en parte, estos constituyentes de forma poco estable o metaestable.



Esta puesta en solución se hace en la aleación 6063 en la prensa durante la extrusión. Las aleaciones de la serie 2000 deben recibir la puesta en solución en hornos separados.

3.1.3.3.2.2- Temple

Desde esa zona de temperatura de puesta en solución a la temperatura ambiente, hay que enfriar el perfil a una velocidad superior a lo que se llama velocidad crítica de temple, para mantener en disolución los elementos endurecedores.

3.1.3.3.2.3- La precipitación ó envejecimiento

El enfriamiento rápido hasta la temperatura ambiente produce una solución sobresaturada (el aluminio en solución tiene más constituyentes de lo que normalmente puede tener a esa temperatura). Como resultado, los constituyentes empiezan a precipitar de la masa de aleación de aluminio. Esta precipitación ocurre a temperatura ambiente con muchas de las aleaciones de aluminio y su acción se conoce como **envejecimiento natural o maduración**. Otras aleaciones deben recibir un tratamiento térmico para completar esta precipitación en un tiempo razonable. Esto se llama **envejecimiento artificial**.

En ambos casos, se intenta que la precipitación de unas partículas repartidas en la matriz del aluminio con un tamaño y distribución precisos para obtener las mejores características mecánicas u otras propiedades.

3.1.3.3.2.4- La incubación

Se llama incubación a la iniciación de la precipitación en el tiempo que transcurre entre la extrusión y el tratamiento de precipitación (envejecimiento artificial).

La forma en que se verifica esta precipitación inicial puede tener mucha importancia en la precipitación que se ha de producir en el horno. Debido a esto, unas aleaciones tienen un tiempo de incubación crítico y otras no.

Así, la aleación 6063 no es muy afectada por esta incubación, aunque tiempos de 1 día o más permiten obtener características mecánicas más altas. Sin embargo la aleación



6061 debe tratarse antes de 8 horas después de ser extruida si se quiere obtener las mejores características.

3.1.3.3.3- INSTALACIONES PARA TRATAMIENTOS

Las instalaciones para tratar aleaciones de aluminio se pueden clasificar de forma muy general, según la temperatura que estas puedan alcanzar.

Normalmente, aquellas que funcionan por debajo de los 375°C son llamadas “ovens”: por ejemplo los hornos de envejecimiento. Los hornos de envejecimiento, para dar tratamientos de endurecimiento por precipitación funcionan entre temperaturas que oscilan entre 80 y 230°C según el tratamiento y aleación. Los hornos horizontales para la puesta en solución alcanzan hasta los 540°C y los hornos para precalentamiento de tochos antes de extruirse, los 600°C. Para los tratamientos de recocido se utilizan hornos con capacidad de funcionamiento entre 250-485°C, y sirven para eliminar tensiones, acritud o efectos de otros tratamientos térmicos

Todas estas instalaciones se componen fundamentalmente de: una cámara para mantener el calor generado (mediante gas, aceite, electricidad), ventiladores para hacer recircular el aire y elementos de control de temperatura y registro.

3.1.3.3.3.1- Temple

El método más corriente empleado para tratar algunas aleaciones de aluminio es el realizar la puesta en solución en la prensa. El resultado es similar al obtenido en un horno separado independiente. El proceso consiste en calentar el tocho antes de la extrusión, su puesta en solución y su enfriamiento a la salida de la prensa por medio de agua o aire, según la aleación y las características que quieran obtenerse. No todas las aleaciones pueden ponerse en solución en prensa: las aleaciones 2XXX, algunas 7XXX (7050, 7075, 7178) no lo admiten, porque a temperaturas del orden de 500°C son difíciles de conformarse en la hilera.

Las aleaciones de la serie 6XXX son las más empleadas para el tratamiento de puesta en solución en prensa: la aleación 6063 temple fácilmente por este procedimiento y



no se hace necesario el empleo de hornos. Después del tratamiento de puesta en solución y enfriado (temple) se hará el envejecimiento.

Cuando es necesario utilizar hornos separados, estos deben soportar temperaturas entorno 500-560°C, y estar provistos de piscinas de agua para templar el material inmediatamente, ya que estos perfiles en aleaciones 2XXX y alguna 7XXX, así tratadas, son muy sensibles a la velocidad de enfriamiento.

3.1.3.3.1.1- Hornos verticales

Para trabajar con aleaciones de la serie 2XXX y algunas 7XXX es preciso disponer de hornos verticales para dar el tratamiento de puesta en solución y posterior temple.

En estas torres los perfiles se sujetan a una armazón, el cual se eleva sobre un tanque de agua en el cual luego se sumergen al final (temple). Un brazo móvil que se encuentra debajo del horno engancha el armazón, quedando libre el puente grúa. Este brazo mueve la carga, colocándola exactamente debajo del horno.

Del interior del horno sale un cable que sujeta la carga y desconecta el brazo móvil. La carga es levantada y se cierra una puerta en la parte inferior del horno vertical, comenzando el calentamiento de la carga.

El calentamiento puede ser utilizando como combustible gas, fuel-oil ó electricidad. Un gran ventilador hace circular el aire caliente uniformemente en el interior del horno.

La temperatura y duración será determinada por la aleación y espesor del perfil, de modo que los perfiles gruesos necesitan más tiempo.

Cuando el ciclo ha finalizado, se abre la puerta y se baja la carga dentro del tanque en menos de 10 segundos. Se emplean bombas con el fin de mantener el agua en movimiento y obtener un temple uniforme.

Cuando el enfriamiento ha terminado, los perfiles se secan al aire. A continuación se llevan al stretcher para enderezarse, ya que en el temple se han deformado-arqueado. Después se cortan y se embalan.



3.1.3.3.2- Envejecimiento

Se llama envejecimiento a la operación que consiste en precipitar partículas muy pequeñas de los constituyentes de la aleación después de que ésta haya sido templada (La solución sólida sobresaturada esta retenida).

En las aleaciones susceptibles de tratamiento térmico, un envejecimiento artificial, producido por un calentamiento controlado en un horno especial proporciona a los perfiles extruidos mayor resistencia y límite elástico.

Hay aleaciones que envejecen a la temperatura ambiente, esto se conoce como *envejecimiento natural*, dándose un endurecimiento estructural menor que el obtenido con el envejecimiento artificial.

Las temperaturas para envejecer las aleaciones de aluminio varían entre los 80 y 230°C, como ya se ha dicho, y se precisa un control de la temperatura de la carga en el horno de $\pm 2^\circ\text{C}$. El tiempo puede variar desde 4 a 48 horas según cada caso y objetivo.

Combinando el tiempo y la temperatura pueden obtenerse diferentes propiedades de los perfiles. El tipo de envejecimiento que se ha sometido a un perfil viene designado por la letra “T” seguida de un número, por ejemplo: 6063-T5.

3.1.3.3.3- Hornos de envejecimiento

Para las aleaciones tratables térmicamente el envejecimiento puede ser natural o artificial. Cuando se trata del último, es preciso disponer de unas instalaciones llamadas hornos de envejecimiento.



El proceso se basa en calentar y mantener el perfil a temperaturas comprendidas entre los 155 y 185°C, según sea el tiempo y las condiciones del horno. Este tratamiento tiene una duración de 6 a 8 horas para una aleación 6063.

Los hornos de envejecimiento pueden utilizar quemadores de gas o mediante resistencias eléctricas. Ambos realizan el calentamiento por medio de una corriente de aire calentado por cualquiera de los sistemas.

Fundamentalmente existen tres tipos de hornos, según sea la distribución del aire dentro del horno de envejecimiento:

- ◆ Hornos de flujo lateral ascendente
- ◆ Hornos de flujo cruzado
- ◆ Hornos de flujo longitudinal

3.1.3.3.3.1- Hornos de flujo lateral ascendente

En este tipo de hornos, el aire es forzado desde unos conductos laterales y recirculado por medio de conductos situados en el techo ayudado por un ventilador. Disponen de una zona de control, un ventilador y una fuente de calor, situada en la toma de aire del ventilador, con objeto de que el calor sea uniformemente distribuido al pasar por el ventilador.

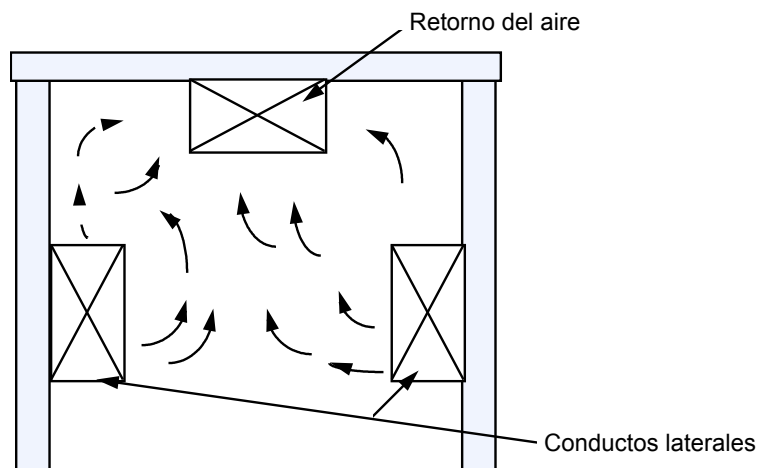


fig. 3.13 H

Figura 2.3.11- Horno de flujo lateral ascendente

La velocidad del aire no puede alcanzar niveles altos en este tipo de hornos, ya que el aire sale por unas toberas laterales, pasa horizontalmente por la carga de perfiles y luego se dirige hacia la parte superior de la carga, volviendo a entrar al conducto de recirculación.

Para un mejor control del envejecimiento en estos hornos, puede disponerse de varias tomas o zonas de control en lugar de disponer de una sola.

3.1.3.3.3.2- Hornos de flujo cruzado

Básicamente estos hornos tienen un conducto lateral que suministra el aire caliente, el cual pasa a través de la carga hasta el lado opuesto, donde es recogido por un conducto de recirculación para ser llevado a las cámaras de calentamiento y del ventilador.

En estos hornos existen menos zonas muertas que en el anterior, pudiendo mantener una diferencia de temperatura de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ en hornos de 12 a 14 m, con una sola zona de control. El aire suministrado por un conducto lateral compuesto en toda su longitud por ranuras de 25 mm. de anchura, las cuales dirigen el aire directamente hacia la carga. Una compuerta ajustable cubre cada una de las ranuras, asegurando así el suministro uniforme de aire en todo el horno.

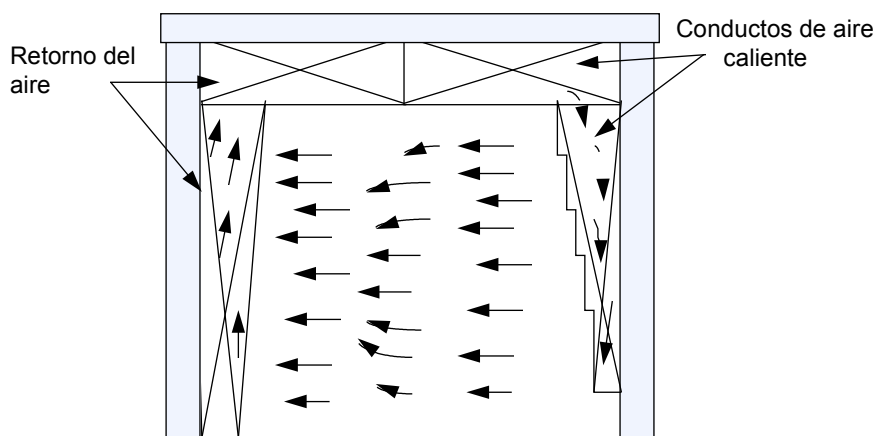


fig. 3.1

Figura 2.3.12- Horno de flujo cruzado

El conducto de recirculación está también diseñado con ranuras troqueladas para la recepción del aire, cuya forma es la de una herradura.

Aquí el ciclo se realiza succionando el aire de la cámara de recirculación, pasando a través de la fuente de calentamiento, luego a través del ventilador hasta el conducto de suministro, sale por las compuertas pasando por la carga y siendo recogido por el conducto de recirculación. A mayor velocidad del ciclo, más preciso será el control de temperatura del proceso.

3.1.3.3.3.3- Hornos de flujo longitudinal

En este tipo de horno, los conductos usuales de aire son eliminados y la cámara de trabajo hace de conducto; el conducto de recirculación se realiza a través de un falso techo, circulando el aire de un extremo a otro de la carga a través y alrededor de los perfiles y retornando hacia el foco de calor y el ventilador por el falso techo.

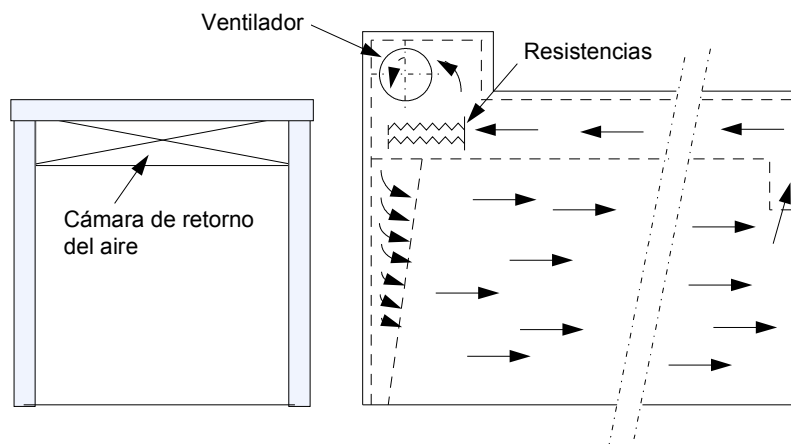


fig. 3.15

Figura 2.3.11- Horno de flujo longitudinal

El aire es proporcionado por ventiladores montados en la parte superior, en uno de los extremos del horno, los cuales mueven un caudal de aire entre los 600 y 2000 m³, movidos por motores de 20 a 50 C.V. dependiendo del tamaño del horno. El aire es suministrado por el extremo de la puerta a través de fletores colocados en la misma, que dirigen el aire horizontalmente hasta el otro extremo del horno, proporcionándose así un flujo igual de aire en el fondo, centro y techo del mismo.

Los conductos de recirculación están colocados en la parte del extremo opuesto, recogiendo el aire desde el piso o suelo hasta el techo y conduciéndolo a la cámara de recirculación. Una compuerta está colocada entre ambas con objeto de controlar el volumen de aire.

La cámara de recirculación está diseñada para que la velocidad del aire sea de 600 m/min. El calentamiento del aire se realiza por medio de quemadores de presión, localizados a la entrada del ventilador, proporcionándose una llama directa a la corriente de



aire a través de toda la anchura del conducto; esto si se trata de hornos calentados por gas. En los hornos eléctricos, los quemadores son sustituidos por grupos de resistencias, a través de las cuales pasa el aire donde se calienta.

Durante los primeros minutos (de 10 a 15) se necesita una gran cantidad de calor, pero una vez que el aire ha alcanzado la temperatura de envejecimiento prefijada, sólo se necesita una parte de la potencia para mantener la temperatura del mismo, para compensar las pérdidas de calor que pueda tener el horno, por las puertas o por un deficiente aislamiento. Esta cantidad de calor suele ser la décima parte del necesario al principio.

El control de la temperatura en estos hornos se realiza colocando termopares en diferentes zonas del horno (generalmente están colocados en las paredes laterales). También es frecuente disponer de un termopar en contacto con los perfiles, el cual nos permite comprobar el tiempo que ha permanecido la carga a la temperatura prefijada.

El aislamiento de estos hornos es a base de lana mineral comprimida de 75 a 90 mm. de espesor, cubierta a ambos lados por chapa de acero que constituyen las paredes del horno.

La carga de los perfiles en los hornos descritos se realiza por medio de una plataforma metálica que se desliza sobre unos carriles y sobre la que se depositan los contenedores de los perfiles.

3.1.3.3.4- TRATAMIENTOS DENOMINADO DE “ABLANDAMIENTO”

Las aleaciones de aluminio pueden sufrir tratamiento térmico con los cuales se pretende obtener el material blando, libre de tensiones... Dichos tratamientos son:

- ◆ Recocido
- ◆ Sobre-envejecimiento



3.1.3.3.4.1- Recocido

El recocido es un tratamiento muy importante en la tecnología de la laminación, pero casi no tiene aplicación en los perfiles de extrusión.

El recocido es utilizado cuando se estiran, calibran en banco de estirado, perfiles en aleaciones diferentes a la serie 6XXX.

El recocido puede emplearse para eliminar el endurecimiento por deformación plástica (enderezado, estirado) ó el endurecimiento por tratamiento térmico de solución-temple y precipitación por envejecimiento. También se utiliza el recocido para obtener perfiles con un alargamiento alto.

El modo de recocer perfiles endurecidos por acritud y/o por endurecimiento estructural por tratamiento térmico es diferente, pero en ambos casos se busca obtener una buena deformabilidad.

La mecánica del recocido para eliminar el endurecimiento por deformación tiene tres fases:

- X La restauración
- X La recristalización
- X El crecimiento del grano

3.1.3.3.4.1.1- La Restauración

Consiste en la eliminación de tensiones internas y la recuperación de parte de la ductilidad, perdidas sobre todo en tratamientos de trabajo en frío ó acritud.

3.1.3.3.4.1.2- La Recristalización

Cuando el calentamiento continua y la temperatura llega a ser lo suficientemente alta, los fragmentos de granos alargados recristalizan en nuevos granos sin deformación.



3.1.3.3.4.1.3- El crecimiento de grano

Es la fase última del recocido y normalmente es no deseada. Para eliminar el efecto de la deformación en frío, el recocido se hace a menos temperatura que el tratamiento que se hace para quitar el endurecimiento por tratamiento de solución-temple-envejecimiento.

Lo que se trata aquí es que los precipitados formen glóbulos de relativo gran tamaño.

Un perfil de aluminio en estado T4 es muy trabajable si se hace inmediatamente después de su extrusión, pero la verdad es que este estado no dura mucho tiempo al endurecer por maduración natural, y por ello el suministrar el material en ese estado T4 puede dar problemas.

Por ello es empleado el recocido, en aquellas aplicaciones que se quiere el material preparado para sufrir deformaciones como la embutición, curvado...

3.1.3.3.4.2- Sobreenvejecimiento

Consiste en una precipitación más alta que la utilizada en un envejecimiento artificial. Produce una precipitación gruesa lo que hace que el material en vez de endurecer sea algo más blando. Es un tratamiento que se da a algunos materiales que se quiere recuperar a estado T4, y es también utilizado como tratamiento de estabilización de algunos perfiles en aleaciones determinadas.



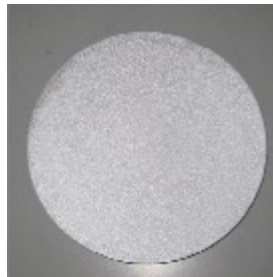
4 - TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

4.1-PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

4.1.1-Análisis macroscópico

De cada colada del caldo de aluminio se obtienen 12 barras de diámetro de 9 pulgadas. Para analizar las barras, cortamos en la sierra una rodaja.

Las rodajas nos sirven para hacer el análisis macroscópico de la barra. Se calienta la rodaja en la mufla hasta que alcance 160°C. A continuación se procede a realizar el estudio macroscópico que consiste en un ataque con la mezcla de HNO_3 , HCl y agua a partes iguales, generando un revelado de la estructura de los granos, suficiente para comprobar si hay zonas en las que su distribución no es homogénea, ver aproximadamente hasta donde llega la corteza y si aparecen presolidificaciones o el tamaño de grano, aunque sin determinar su tamaño exacto.



4.1.2-Análisis microscópico

A continuación, para hacer el análisis microscópico necesitamos sacar una muestra de esta rodaja.



Para ello la llevamos a una sierra de cinta sin fin SAMUR S-400, extrayendo un rectángulo de dimensiones 1.5x2.5mm aproximadamente. Esta sierra funciona con una hoja STARRET de 3/8'' (9.52mm) de ancho y 0.56mm de espesor y 8 dientes por pulgada.

El trocito de rodaja lo vamos a empastillar para darle mas consistencia y poder agárralo mejor a la hora de pulirla.

Cuando ya tenemos la muestra empastillada, se procede a pulirla. Para ello utilizamos la pulidora-desbastadora VECTOR de BUEHLER con plato de 8'' de diámetro (203mm). Realizando una serie de pasos la muestra quedara lisa y limpia para analizar en el microscopio.

4.2-DEFINICIÓN DE VARIABLES A CARACTERIZAR

El control de los cambios realizados lo llevamos a cabo analizando las propiedades de la microestructura del tocho. Las propiedades que vamos a analizar son:

- Composición química (4.2.1)
- Aspecto superficial del tocho (4.2.2)
- Grosor de la zona de segregación(4.2.3)
- Tamaño de grano en la superficie y en la estructura general (4.2.4)
- Otros posibles defectos (4.2.5)
-

4.2.1-Composición química

La composición química de las aleaciones se rige por la norma UNE-537-3. En ella podemos ver cuál es el porcentaje en peso que tiene que tener cada elemento para que la aleación sea considerada una 6082.

De esta manera tenemos:

Aleación	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Cr	Zn	Ti
6082	0.2	0.94	0.64	0.44	0.05	0.05	0.05	0.02

La composición exacta que sigue la aleación 6082 en la fábrica Sapa Profiles Navara, se incluye en el Anexo 1.

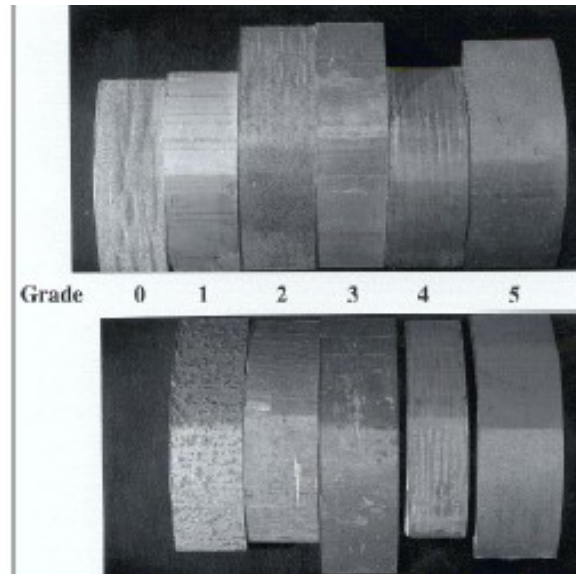
Para analizar la composición química se necesita un espectrómetro, además de tener la muestra (seta) bien torneada o fresada para poder dar los chispazos encima de ella.



Se miden las composiciones de los elementos y con la media de los chispazos, se calcula el grado para cada uno de ellos.

4.2.2-Aspecto superficial del tocho

Tenemos la rodaja cortada del tocho para poder comparar su superficie exterior con la de las siguientes fotos.

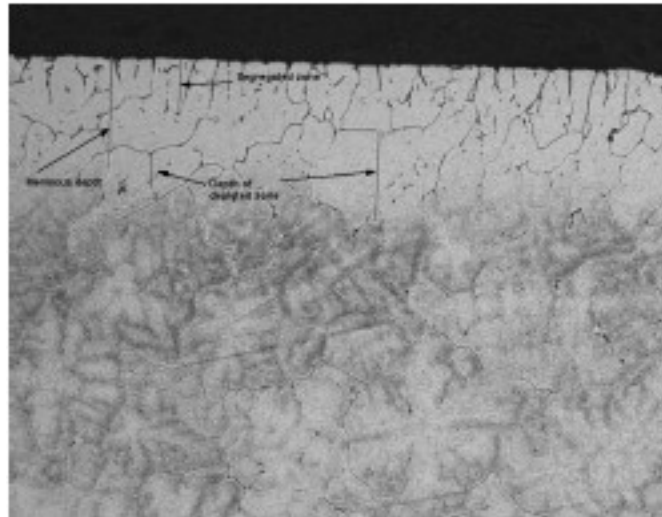


4.2.3 Grosor de la segregación

4.2.3.1 Fundamentos teóricos.

Cuando se estudia la corteza de un tocho es común observar una zona de pequeño espesor que presenta características especiales, ya que la concentración de precipitados y de fases intermetálicas es mucho mas elevada de lo que lo es en el interior. A ese fenómeno se lo conoce como segregación inversa, y es causa de la diferenciación de tres zonas en la parte exterior del material:

1. Zona enriquecida en elementos aleantes correspondiente a la mas externa (zona de segregación inversa)
2. Zona empobrecida en elementos aleantes, en contacto con la anterior.
3. Zona de composición natural (Estructura general).



Este hecho puede explicarse de la siguiente manera:

En primer lugar, cuando el metal líquido entra en contacto con el molde, solidifica rápidamente pero con un espesor pequeño. Las dendritas que se forman en esta primera fase tienen un bajo contenido en aleantes, mientras que la parte líquida se enriquece en estos elementos. A continuación la contracción que se genera debido a una solidificación tan brusca crea canales interdendriticos por los que fluye, forzado por la presión metalostática, el líquido es reemplazado por otro de composición normal.

Así la primera zona, en la corteza, se forma con el líquido enriquecido que fluye a través de las dendritas. La segunda está compuesta por las dendritas bajas en aleantes y el aluminio fundido que ha reemplazado al que ha fluido hacia la zona de la corteza y la última zona, la más interna, es la creada a partir de metal fundido de composición normal.

4.2.3.2. Aplicación práctica

La zona de segregación (sz) se define como el grosor de la capa enriquecida de la superficie. Si está presente la forma del menisco (m) se califica separadamente. La que nos dé el menor grado es la que se utiliza para determinar el grado.

Para poder analizar la segregación inversa tenemos que atacar la muestra con ácido fluorhídrico HF al 0.5% durante 20 segundos.

Profundidad de la zona de segregación:

GRADO	6060	Unidad
5	$sz \leq 0,02$	mm
4	$0,02 < sz \leq 0,05$	mm
3	$0,05 < sz \leq 0,10$	mm
2	$0,10 < sz \leq 0,15$	mm
1	$0,15 < sz \leq 0,20$	mm
0	$0,20 < sz$	mm



4.2.4 Tamaño de grano

4.2.4.1 Fundamentos teóricos

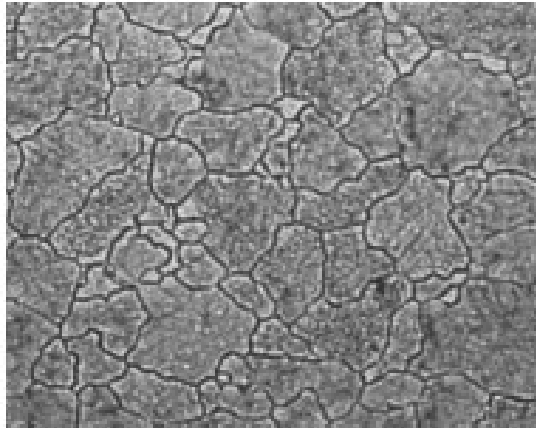
Proceso de formación de los granos

A medida que un metal líquido se enfría por debajo del punto de fusión, comienza la nucleación de pequeños cristales que crecen a diferentes velocidades en cada dirección de la red.

En el caso del aluminio y del resto de los metales con estructura cúbica centrada en las caras, las direcciones preferenciales para el crecimiento son las $\langle 100 \rangle$ del cubo.

Cuando el aluminio contiene disueltos átomos de soluto, generalmente con un tamaño distinto a suyo, éstos no se ajustan bien en la red cristalina que se está formando y quedan en el líquido residual. Se dice entonces que esos átomos han sido micro segregados hacia las regiones interdendríticas. De este modo, el sólido resultante no tiene una composición uniforme, sino que está microsegregado en una escala que depende del tamaño de las dendritas. Así mismo, este tamaño depende de las condiciones de enfriamiento, que a su vez vienen determinadas por el método de colada.

El material solidificado tras la operación de colada consiste por lo tanto en colonias de dendritas separadas por juntas de grano, en las que los granos están microsegregados. Un tratamiento térmico del material justo por debajo de su punto de fusión (homogeneizado) permite que los gradientes existentes en la composición del soluto desaparezcan mediante procesos de difusión y que se formen granos con composición uniforme. En condiciones normales, este tratamiento no conlleva cambios en el tamaño de grano del material



Granos de la microestructura

Un tamaño fino de grano viene determinado por la velocidad de enfriamiento, pero especialmente por la adición de un afinante de grano que proporcione un número elevado de núcleos para la formación de cristales.

Si el proceso de afinado no es el adecuado pueden aparecer granos de gran tamaño a lo largo de una dirección preferencial de crecimiento, fenómeno que se produce con mayor facilidad si existe un gradiente térmico pronunciado entre el líquido y el sólido. Incluso aplicando un correcto afinado pueden aparecer granos de este tipo de forma aislada, en zonas donde una distribución pobre del meta pueda causar la intrusión del líquido caliente. Esta zona con estructura y distribución de partículas diferentes puede ocasionar diferencias en la totalidad de los productos extruidos una vez anodizados y por este motivo debe evitarse su formación.

Tamaño de grano grande (RECRISTALIZACIÓN)

Los cristales flotantes o recristalización hace que aparezcan unos granos muy brillantes de gran tamaño que se pueden ver a simple vista al hacer el análisis macroscópico. Esta recristalización se puede reducir o evitar teniendo en cuenta varios aspectos que se tratarán con más detalle en apartados posteriores.

Beneficios derivados de un tamaño de grano pequeño y uniforme
Proyecto Final de Carrera



Un concepto ampliamente arraigado en el diseño de todo tipo de aleantes de alta resistencia es el empleo, dentro de lo posible, de un tamaño de grano pequeño. En general esto asegura un incremento de la dureza, de la tensión de rotura y del límite elástico y ayuda a conseguir un buen mecanizado.

Otra razón por la que la obtención de un tamaño de grano pequeño resulta importante se debe a que el desplazamiento de los planos atómicos se ve dificultado por las juntas de grano, que son regiones desordenadas, y por la presencia de partículas de otras fases dispersas en la matriz lo que en conjunto contribuye a un aumento de las propiedades mecánicas del material.

Además de tamaño, una estructura homogénea de los granos implica una menor segregación de los elementos aleantes, y por lo tanto una mejor respuesta del material a los tratamientos térmicos. Por último, se consigue que defectos tales como la porosidad o las partículas intermetálicas queden uniformemente distribuidas, resultando de este modo menos perjudiciales.

4.2.4.2. Aplicación práctica

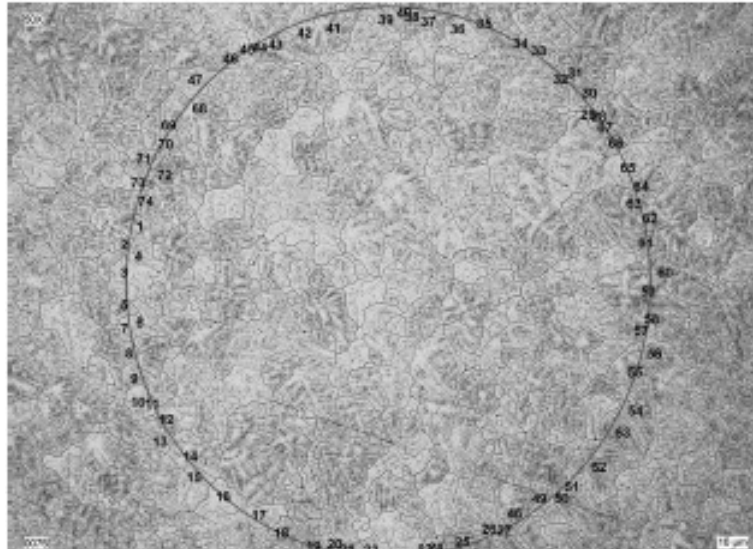
Para poder hallar el tamaño de grano, hay que atacar la muestra con ácido fluorhídrico al 50% durante 20 segundos.

El tamaño de grano (g) se mide en la zona de la estructura general a 30mm de la superficie del tocho usando el método lineal de intercepción.

Se dibuja un círculo de radio R y se cuentan todos los granos que atraviesa. Si el grano está tangente a la línea entonces contamos como medio grano.

El tamaño de grano se calcula con la siguiente fórmula

$$\text{Tamaño de grano} = g = \frac{2 \cdot \Pi \cdot R}{N^{\circ} \text{ granos}}$$



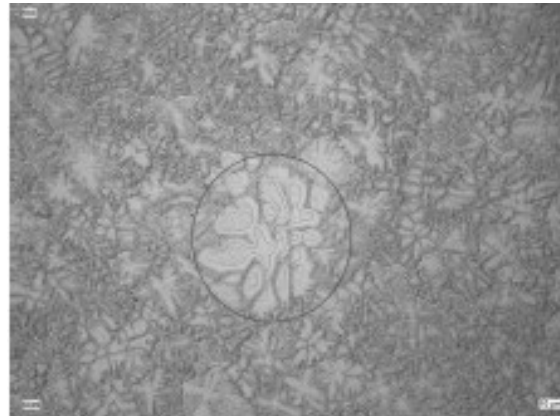
Para calcular el grado que tenemos del tamaño de grano miramos la siguiente tabla:

GRADO	6060	Unidad
5	$g \leq 120$	μm
4	$120 < g \leq 135$	μm
3	$135 < g \leq 150$	μm
2	$150 < g \leq 200$	μm
1	$200 < g \leq 250$	μm
0	$250 < g$	μm



4.2.5 Otros posibles defectos

La presencia de cristales flotantes y/o emanación de cristales nos lleva a un grado 0. Esto es así porque la recrystalización hace que los perfiles rompan en la zona donde ha aparecido, como se explicara mas adelante.



Conjunto de Cristales flotantes



5 - CONTROL DE LA ESTRUCTURA DE GRANO EN EL PROCESO DE LA EXTRUSIÓN

La estructura del grano en una extrusión de Al-Mg-Si es un factor importante del producto en un amplio rango de aplicaciones. Puede influir en el alargamiento, maleabilidad, mecanizado, aspecto del anodizado, dureza y absorción de energía de choque.

La estructura del grano puede ser completamente recristalizada, fibrosa sin recristalizar, o una mezcla de las dos. En las condiciones de recristalización, se puede encontrar un amplio rango de tamaño de grano para una aleación dada. La interacción entre las variables del proceso de extrusión y la estructura del grano es poco conocida, y la línea a seguir en las industrias es mantener la temperatura de salida baja.

Son varios los parámetros principales variables del proceso, ratio de extrusión, temperatura del tocho, velocidad de pistón, temperatura de salida, y el de la materia prima.

El control de la estructura de grano de las extrusiones Al-Mg-Si esta siendo impulsado por múltiples aplicaciones, pero particularmente la industria del transporte y automóvil. Esta demostrado que un tamaño de grano grueso en la corteza eleva el número de problemas incluidos la resistencia a la fatiga, pobre mecanizado y pobre calidad superficial.

Los requerimientos para aleaciones como la 6082 puede ser referidos a la fracción de recristalización máxima, máxima profundidad de recristalización o en general el tamaño de grano de la recristalización.



5.1- ESCENARIO INICIAL

El cliente nos solicita un perfil, plano en Anexo 3, el cual será destinado a chasis para camiones. En esta sección del proyecto se omitirán datos concretos en cuanto a solicitudes del cliente y capacidades de la empresa Sapa Profiles Navarra, siempre que no se trate de datos al alcance de cualquier persona perteneciente a la compañía. Los requerimientos del cliente para este perfil en cuanto a carga de rotura y límite elástico son elevados.

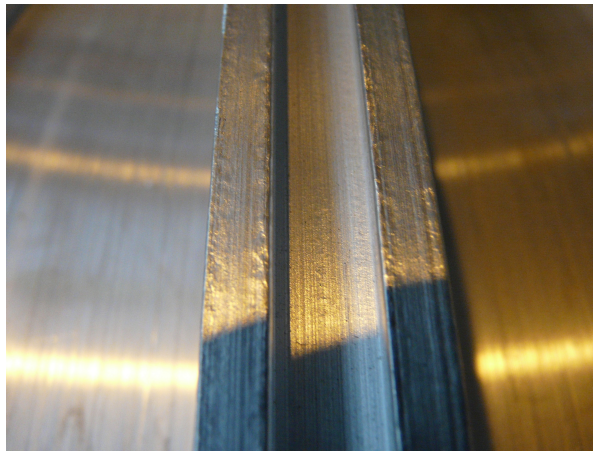
Por parte de Sapa se le suministra al cliente, una cantidad de toneladas extruidas con la aleación estándar 6082 con la que se trabaja en la empresa. Dicha composición se encuentra en el Anexo 1.

El cliente realiza una deformación en frío sobre dicho perfil, mas concretamente un curvado. Este realiza con éxito tres de los procesos productivos, pero tiene problemas al realizar un curvado. En el Anexo 2 se adjuntan las curvas a realizar requeridas por el cliente.

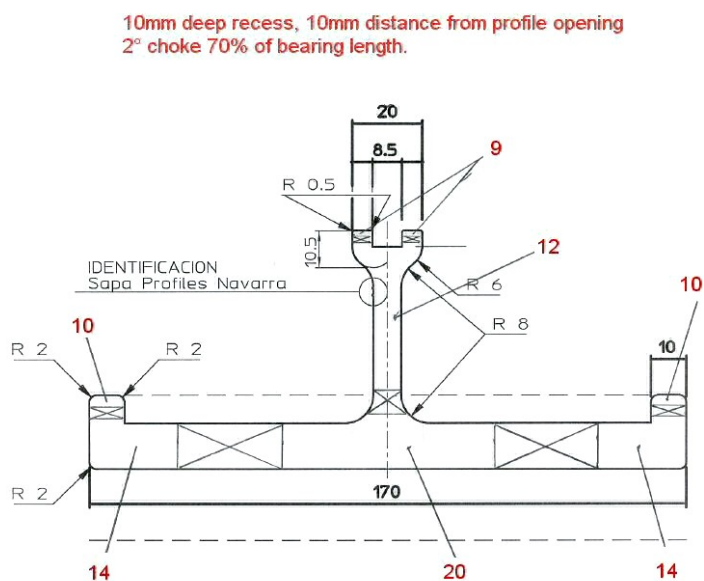
La deformación que el perfil no logra hacer de manera correcta, se trata de un curvado de 90° con un radio de 350 mm.



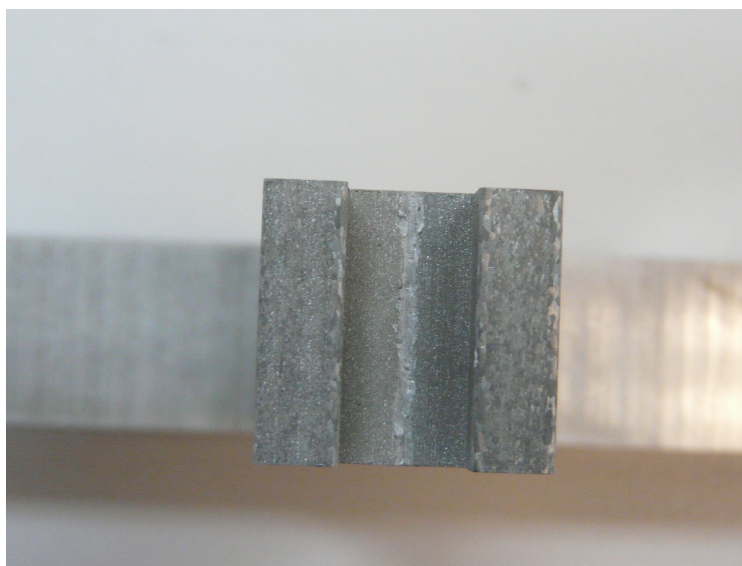
Como se puede observar en la siguiente foto la recrystalización es visible a simple vista. Se puede ver como la recrystalización se focaliza en las aristas cuyo redondeo es mínimo.



En la figura que se observa a continuación, podemos ver los puntos mas críticos, y en los cuales la recrystalización se hace mas patente.



Esto es debido a que son las zonas de mayor roce, lo que conlleva un aumento de la temperatura en estas zonas, lo cual favorece la recrystalización.



Los granos son visibles a simple vista. En la imagen superior se aprecia una recrystalización distribuida por toda la superficie exterior del perfil, y mayor en la zona mas critica del perfil.



En la imagen inferior como la recrystalización incluso profundiza en el perfil en ciertas zonas.



5.2- CONTROL DE LA ESTRUCTURA DE GRANO

Las barras extruidas a menudo muestran una mezcla en su estructura de grano, que consiste en la recrystalización de la capa superficial, como sucede en el caso de nuestro perfil, algunas veces llamado (CJOB) Grano Grueso de la Capa Exterior o (PCG) Grano Grueso en la Periferia

Como he dicho el uno de los factores mas importantes es la fuerza de retraso de la microestructura, permite la inhibición de la recrystalización. La fuerza de retraso esta determinada por la composición química y el homogeneizado. Un elevado contenido de un material, no indicado en el proyecto por la confidencialidad, aporta un elevado volumen de dispersoides, pero su tamaño (y su distancia media entre partículas) es determinada por la temperatura y el tiempo de homogeneizado.

Como una medida del efecto retardante de los dispersoides en la recrystalización, el parámetro “Zener drag”. Se trata de un parámetro que se calcula en función de la energía

Proyecto Final de Carrera



limite de grano, el número de partículas y el diámetro de las partículas de cada clase existentes.

Como conclusión se puede obtener que cuanto mayor es el parámetro Zener drag menor es el numero de dispersoides y menor es el tamaño del subgrano limite, lo cual nos permitirá unas deformaciones mas extremas sin recrystalización.

Se realizo una aleación con una composición un tratamiento de homogeneizado con el cual se consiguiera maximizar el parámetro Zener drag, incrementando la densidad de los dispersoides con lo que se consiguió limitar la profundidad de la zona de recrystalización.

5.3- POSIBLES SOLUCIONES

La solución mas sencilla, y la que otros suministradores le ofrecieron, hubiera un cambio de geometría del perfil. Aumentando los redondeos y en las zonas de mayor roce favoreciendo la fluidez del perfil. Pero nuestro compromiso con el cliente de suministrar el perfil con la geometría acordada nos llevo a una investigación para solucionar el problema por otras vías.

La documentación se realizó sobre artículos publicados para las reuniones anuales que se realizan para tratar temas relacionados con la extrusión. Concretamente en el año 2006 la reunión trató sobre la recrystalización en el proceso de extrusión.

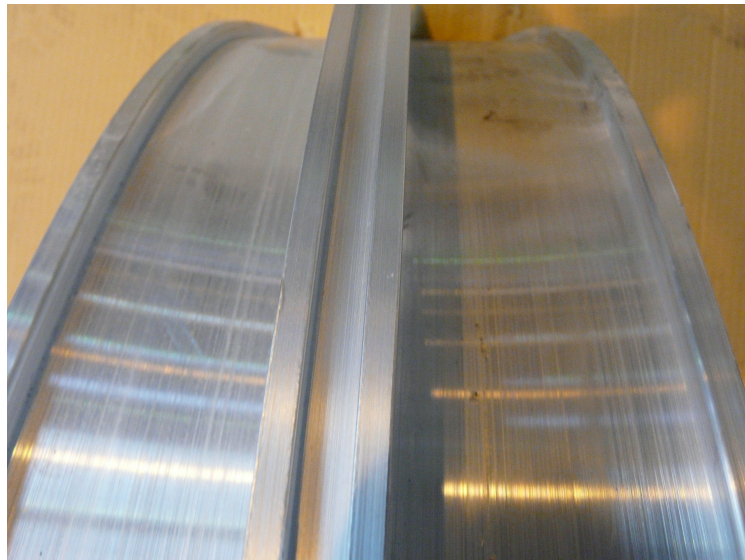
A menudo es deseable tener una estructura fibrosa para conseguir ventajas en el incremento del alargamiento. La composición de la aleación puede ser modificada, pero hay que tener en cuenta que ciertos cambios en la composición pueden provocar aumentos en la

presión a la hora de la extrusión y un cambio en la sensibilidad a la hora del enfriamiento y por lo tanto de la capacidad de este a la hora de coger propiedades.

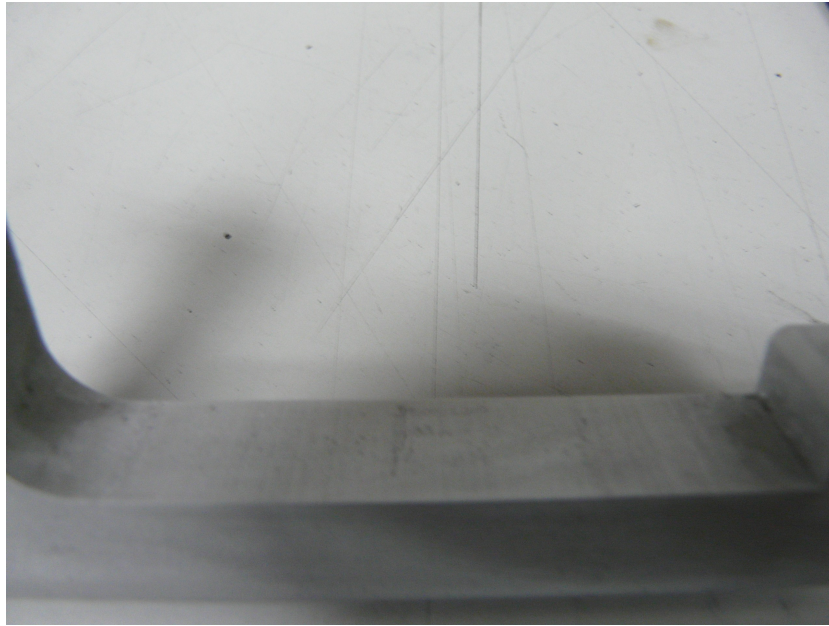
La densidad del número de dispersoides tiene una gran influencia en la resistencia del material a la recristalización. La densidad de dispersoides esta muy relacionado con la composición y también con el proceso de homogeneizado realizado sobre la materia prima.

Por confidencialidad de la empresa, no es posible plasmar los datos adquiridos y definitivos con los cuales se realiza actualmente el perfil. En la exposición se darán detalles concretos acerca de composición, tratamiento de homogeneizado.

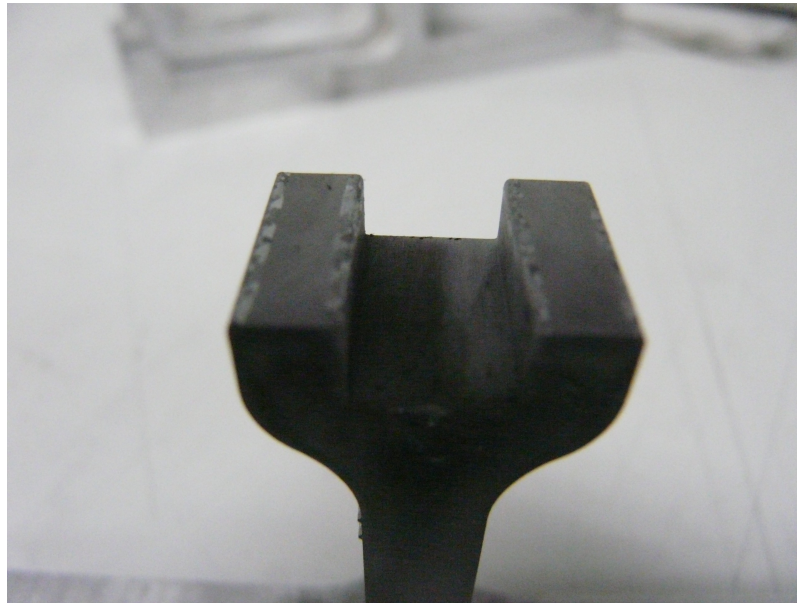
Actualmente se le esta suministrando perfil con la nueva aleación, a la cual se le ha denominado internamente 6082-H. El cliente es capaz de realizar las deformaciones que quería sin ningún tipo de problema y consigue una acabado superficial excelente como se observa en la siguiente imagen.



Como se aprecia en la imagen, en el nuevo perfil no se observa recristalización en zonas en las cuales antes era fácilmente visible.



Incluso en la zona donde mayor era la recrystalización con las anteriores condiciones, tanto de composición de la materia prima como parámetros a la hora de la extrusión, se ha reducido muchísimo la recrystalización. En la imagen superior se observa que la profundización de la recrystalización es mínima. En la imagen inferior se puede ver como existe algo de recrystalización en la zona donde mayores son los esfuerzos sufridos por el perfil.





6- CONCLUSIONES

Tras una investigación, basada en la lectura de diversos artículos relacionados con la recristalización en el proceso de extrusión, podemos llegar a unas conclusiones experimentales, y a la influencia de estas conclusiones en el ámbito económico de la empresa:

-Dada la composición de la materia prima existente antes de las investigaciones, aleación 6082, y el tratamiento de homogeneizado que se le aplicaba al tocho, la empresa Sapa Profiles Navarra, solo podía suministrar al cliente, perfil para realizar tres de las cuatro piezas necesarias para completar la estructura necesaria del producto. La composición de la aleación utilizada previa al estudio se encuentra en el Anexo 1, las curvas requeridas por el cliente se pueden observar en el Anexo 2.

-Tras la documentación e investigación, se modifica la composición de la aleación con la que se extruirá el producto requerido por el cliente, y a su vez se modifica el proceso de homogeneizado del mismo. Los datos concretos de composición y tratamiento de homogeneizado recibidos por la materia prima no se reflejan en el proyecto con el objetivo de preservar el secreto de empresa. Las muestras enviadas al cliente, superan las pruebas de curvado realizadas por el cliente.

-La creación de esta nueva composición para dicha aleación 6082, nos abre las puertas a un nuevo mercado.

-El mercado de los productos especiales y complicados. Sapa Profiles Navarra en el año 2008-2009 en el mercado del transporte, realiza una cantidad de toneladas para este cliente en concreto para la construcción de vigas chasis. En aquellas piezas sobre las cuales no se realiza una deformación posterior, o la deformación no es muy fuerte, no produce ningún tipo de rechazo. Sin embargo sobre una pieza en concreto en la cual la deformación



es considerable, como se refleja en el Anexo 2, el rechazo asciende a 120.000€, lo que supone una devolución de aproximadamente 34 toneladas del producto.

-Con la aleación existente, la que actualmente Sapa Profiles Navarra denomina 6082H, se está suministrando al cliente 20 toneladas mensuales de este perfil en concreto, lo cual nos ha permitido introducirnos en un mercado en momentos de gran necesidad.

-Otra vía que se nos abre es el mercado del automóvil. El mercado de las piezas de seguridad, con la aleación estándar 6082 de Sapa, no se conseguía la gran sollicitación mecánica requerida en este tipo de piezas. Estamos hablando de carga de rotura superior a 340 MPa, límite elástico de 310 MPa, y un alargamiento superior al 8%.

-Actualmente la empresa Sapa Profiles Navarra está inmersa en un nuevo proyecto de gran consumo en este sector. Suministramos aproximadamente 200.000 u/año de una pieza de seguridad de 50mm. Lo que supone unas 100 toneladas anuales.

Para concluir, reseñar que Sapa gracias a la nueva composición de la aleación 6082, ha conseguido entrar en un mercado que le está repercutiendo grandes beneficios económicos.

ANEXO 1

	APENDICE	Cód. : APS.10.01.02-20
		Rev.15: Septiembre '08
		Pág. : 1 de 2

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALEACIONES DE ALUMINIO

Parámetros de Fundición para : **Aleación 6082** **Diámetro 9 Pulgadas**

Composición:

	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Ti	Cr	Zn	V	Na	Otros
Mínimo	0.19	0.91	0.61	0.41							
Ideal	0.20	0.94	0.64	0.44							
Máximo	0.32	0.98	0.68	0.47	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.00 1	0.05

Parámetros de colada:

Variable	Mí n	Má x	Variable	Mí n	Máx
Variador Caudal	49	51	Tª Trasvase (°C)	735	745
Caudal CI (l)	68	76	Tª Sniff (°C)		-
Caudal Ar (m³/h)	2.0	2.4	Tª Mesa Colada (°C)	690	730
Rpm Sniff	330	335	Tª Molde + Frío (°C)		-
Aporte Varilla Titanio (cm/min)	42	46	Programa de colada	Long 4m - 5 Long 4.45m - 4	
Altura Aluminio molde (mm)	20	30	Velocidad Mesa	70	80
Aporte extra Titanio	No		Cambio Filtro	No	

Homogeneizado:

Temperatura	Tiempo a Temperatura	Tiempo Total	Enfriamiento
565°C (+5/-10)	6 horas mínimo	15 horas	5 horas

Control por ultrasonidos: **Si**

Muestras Garantía de Calidad: **Colada No** **Homogeneizado No**

Identificación: **Nº Colada Sí** **Aleación Sí** **Color Verde**

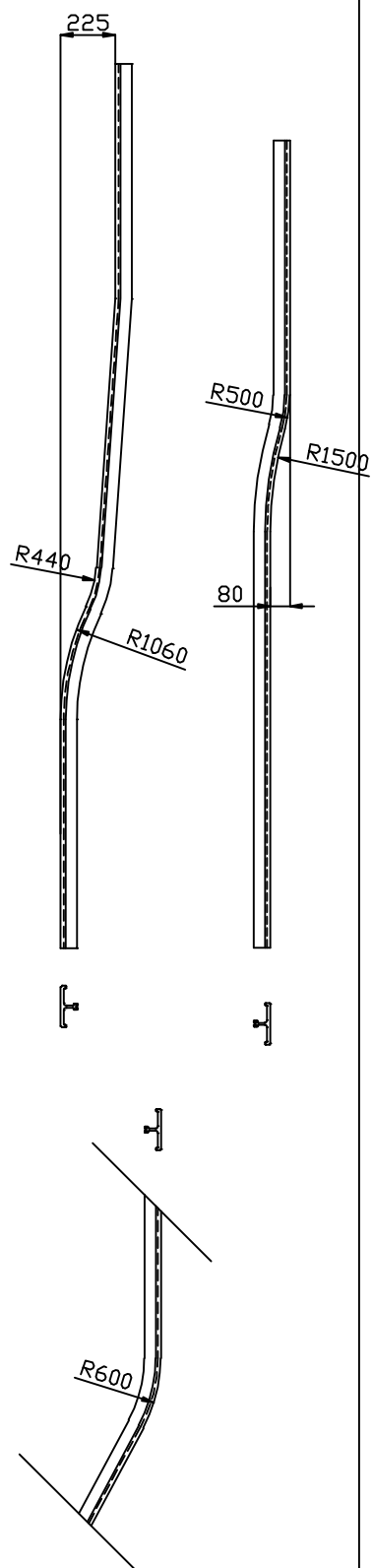
	APENDICE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALEACIONES DE ALUMINIO	Cód. : APS.10.01.02-20
		Rev.15: Septiembre '08
		Pág. : 2 de 2

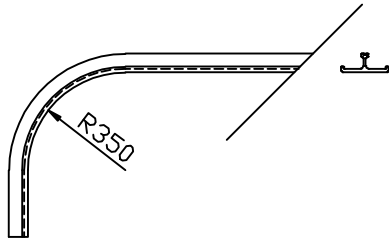
Revisión	Descripción	Fecha
0	Primera elaboración	Dic.-95
1	Unificados todos los apéndices en uno solo	Feb.-98
2	Cada página tiene su propia fecha de edición.	Oct.-98
3	Añadida aleación 6082-2.	Mar.-99
4	Modificada aleación 6082-2. Añadidos nº de revisión a cada página. Añadidas tolerancias a la Tª homogeneizado.	Ago.-99
5	Modificada Tª homogeneizado aleación 6082 (antes 585 °C). Cambios en los responsables de revisar y aprobar el apendice	Sep.-99
6	Modificada composición de la aleación 6082-2.	Oct.-99
7	Se han ordenado las aleaciones en 2 grupos: Aleaciones estándares y resto.	Nov.-99
8	Introducción del redondeo. Cambio composición aleación 6082-2, antes: Si (0,95-1,05), Mn (0,52-0,58), Zn (0,02 máx). Eliminada aleación 6082. Introducción marcaje en verde para 6082-2.	Ene.-02
9	Cambio homogeneizado 6082-2, antes 12h 570°C.	Ene.-02
10	Revisión general	May.-02
11	Cambio composición en aleación 6082-2, antes: Fe (0,19-0,25), V sin cota máxima.	Mar.-04
12	Cambio denominación: antes 6082.2, ahora 6082. Cambio composición: antes Si (0.95-1.02), Mn(0.5-0.56), Mg (0.62-0.70); Fe(0.19-0.25)	Jun.-04
13	Introducción de nuevo formato, inclusión de parámetros de procesos. Cambiada temperatura de homogeneizado (antes 570°C)	Oct.-04
14	Revisión general	May.-08
15	Introducción del parámetro: "Programa de colada"	Sep.-08

Fecha: Septiembre – 2008	Fecha: Septiembre – 2008	Fecha: Septiembre - 2008
Realizado:	Revisado:	Aprobado:
Mario Chueca Dpto. Ingeniería	Trinidad Arrese Coordinadora ISO/TS	Jose Antonio Martínez Jefe Fundición

ANEXO 2

Estas curvas las conseguimos hacerlas con material sapa





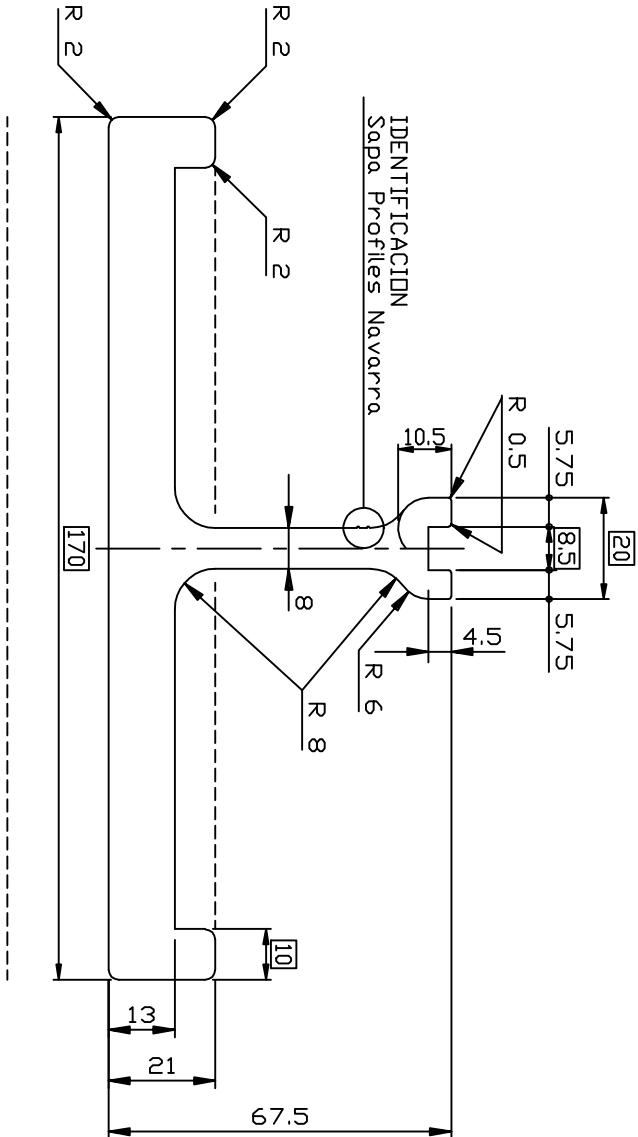
Esta curva NO la
conseguimo hacer con
material sapa

ANEXO 3

TRANSPORTE

NC20688

010776



REF. CLIENTE :	PROPIEDADES MECANICAS	
FECHA ULTIMA MOD. :	$I_x = 74,27 \text{ cm}^4$	$I_y = 831,88 \text{ cm}^4$
ALEACION :	6062-T6	
TOLERANCIAS :	DUREZA :	
PLANO MECANIZADO :	ALARGAMIENTO :	
FECHA ULTIMA MOD. :	CARGA DE ROTURA :	
	LIMITE ELASTICO :	

ESPESOR GENERAL		TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS SEGUN NORMA EN 786-6	
AREA	2908	FECHA	12-11-08
TEORICO	7864	DIBUJADO	F.A.
MAXIMO	8247	APROBADO	JMG
MINIMO	7069	ESCALA	1:1
INTERIOR			
EXTERIOR			
TOTAL	820		
CIRCUNFEREN	171	CLIENTE	

NADOS PLANTEADOS DE 0,5
ANCHAS CON RADIO DE 0,5

SUPERFICIE EXPUESTA

sapa:

Sapa Profiles Navarra

Nº CLIENTE

Nº PROVS.

010776